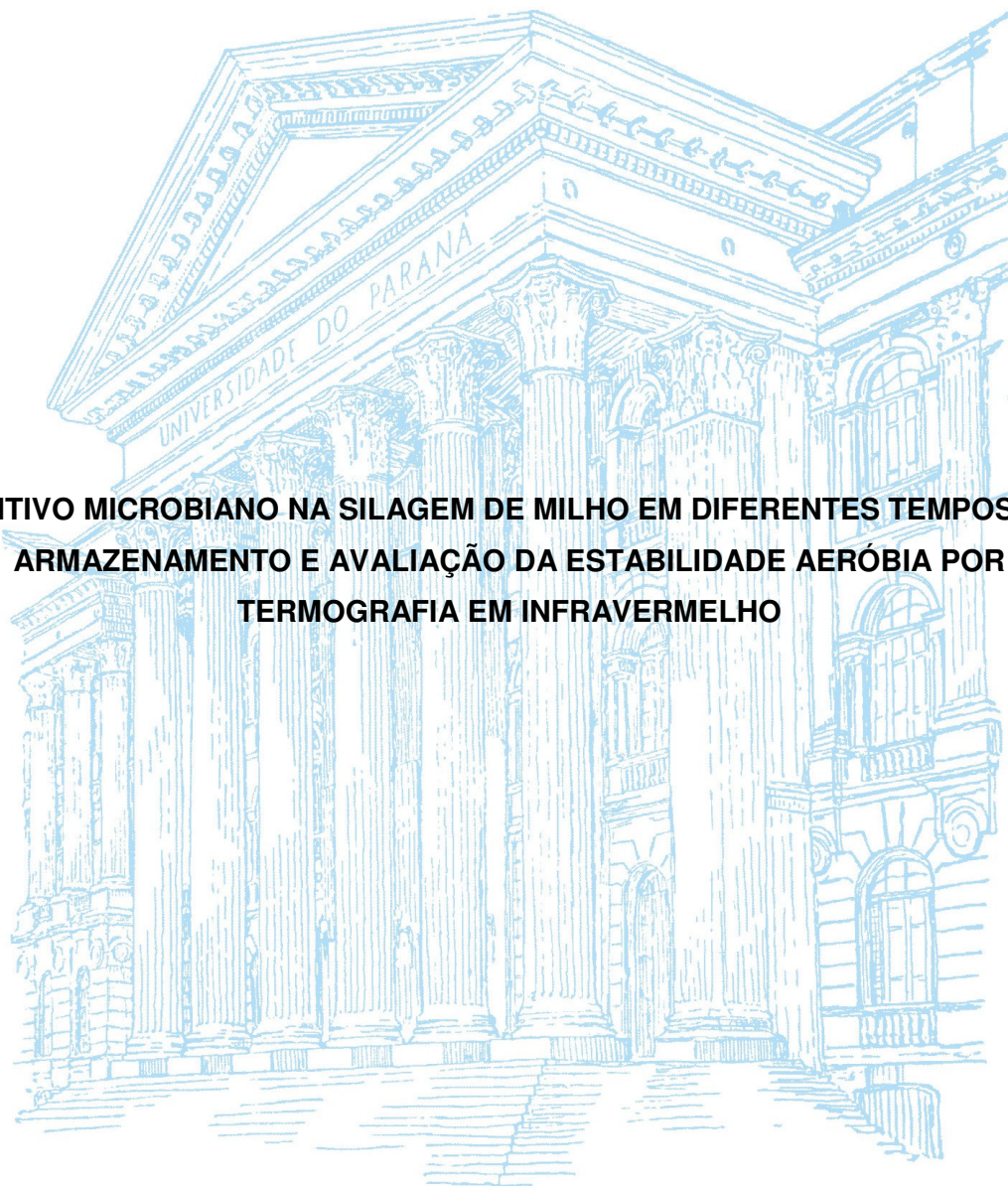


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DANIEL JUNGES

**ADITIVO MICROBIANO NA SILAGEM DE MILHO EM DIFERENTES TEMPOS DE
ARMAZENAMENTO E AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE AERÓBIA POR
TERMOGRAFIA EM INFRAVERMELHO**



CURITIBA

2010

DANIEL JUNGES

Zootecnista

**ADITIVO MICROBIANO NA SILAGEM DE MILHO EM DIFERENTES TEMPOS DE
ARMAZENAMENTO E AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE AERÓBIA POR
TERMOGRAFIA EM INFRAVERMELHO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, Área de Concentração em Nutrição e Alimentação Animal, do Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Veterinárias.

Orientador:
Prof. Dr. Patrick Schmidt

CURITIBA

2010

Junges, Daniel

Aditivo microbiano na silagem de milho em diferentes tempos de armazenamento e avaliação da estabilidade aeróbia por termografia em infravermelho / Daniel Junges.— Curitiba, 2010.

100 f.

Orientador: Patrick Schmidt.

Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.


1. Milho – Armazenamento. 2. Milho - Silagem. I. Título.

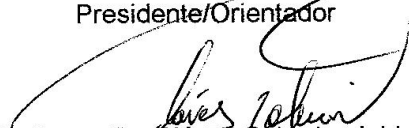
CDU 633.15

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS VETERINÁRIAS**PARECER**

A Comissão Examinadora da Defesa da Dissertação intitulada **“ADITIVO MICROBIANO NA SILAGEM DE MILHO EM DIFERENTES TEMPOS DE ARMAZENAMENTO E AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE AERÓBIA POR TERMOGRAFIA EM INFRAVERMELHO”** apresentada pelo Mestrando DANIEL JUNGES declara ante os méritos demonstrados pelo Candidato, e de acordo com o Art. 79 da Resolução nº 65/09-CEPE/UFPR, que considerou o candidato APTO para receber o Título de Mestre em Ciências Veterinárias, na Área de Concentração em Ciências Veterinárias.

Curitiba, 17 de dezembro de 2010


Professor Dr. Patrick Schmidt
Presidente/Orientador


Professor Dr. Clóves Cabreira Jobim
Membro


Professor Dr. Paulo Rossi Junior
Membro

Aquarela

*...Um menino caminha
E caminhando chega no muro
E ali logo em frente
A esperar pela gente
O futuro está...*

*E o futuro é uma astronave
Que tentamos pilotar
Não tem tempo, nem piedade
Nem tem hora de chegar
Sem pedir licença
Muda a nossa vida
E depois convida
A rir ou chorar...*

*Nessa estrada não nos cabe
Conhecer ou ver o que virá
O fim dela ninguém sabe
Bem ao certo onde vai dar
Vamos todos
Numa linda passarela
De uma aquarela
Que um dia enfim
Descolorirá...*

Aos meus queridos Pai, Mãe e Irmão,
que propiciaram e incentivaram a
realização dos meus sonhos e a
estudar, sempre me guiando pelas
melhores veredas da vida

A minha Noiva, fonte de inspiração,
apoio, incentivo mesmo estando a
longa distância. À sua força e
confiança devo toda essa conquista

Minha Eterna Gratidão

DEDICO

BIOGRAFIA

DANIEL JUNGES, filho de Anastacia Schneider Junges e Nilo João Junges nasceu em Saudades, Estado de Santa Catarina, aos 12 de dezembro de 1982. Coursou o ensino fundamental no Colégio Estadual Rodrigues Alves, no município de Saudades/SC, realizou o ensino médio na Escola Interna Rainha dos Apóstolos, onde foi Seminarista junto a Congregação São Vicente Pallotti, Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul durante o período de 1999 a 2003.

Em 2004 iniciou o curso de Zootecnia pela Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, Chapecó, Estado de Santa Catarina, recebendo o Título de bacharel em Zootecnia em dezembro de 2008.

Em março de 2009, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias do Departamento de Zootecnia do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná - UFPR, que encerra com a defesa do presente trabalho.

AGRADECIMENTOS

À Deus por jamais ter me abandonado nos momentos difíceis, por ter me dado uma família maravilhosa e por todos que colocastes em meu caminho...

Ao Prof. **Patrick Schmidt**, por me aceitar como orientado, pela confiança, ensinamentos (que foram muitos) tanto técnico quanto crescimento pessoal, orientação, cooperação, exemplo, incentivo, oportunidades e acima de tudo, pela grande amizade consolidada.

Ao Prof. **Paulo Rossi Jr.** pelos bons conselhos e orientações. Pelas conversas descontraídas e do bom humor desse amigo. Grande abraço!

Ao Prof. **Rodrigo de Almeida**, pelas orientações e disponibilidade ao fazer parte do comitê de orientação.

Ao Prof. **Peterson T. Dornbusch**, Prof. **Rodrigo A. Teixeira**, Profa. **Laila T.D. Teixeira** pela preciosa ajuda nas análises estatísticas.

Ao Prof. **Renato Marques** que disponibilizou o laboratório para a realização das análises dos gases.

Aos amigos e colegas **Charles, Ingrid, João, Patrick** (xará), **Thayana** integrantes do Centro de Pesquisas em Forragicultura (CPFOR), pelos bons momentos e que tornaram possível a realização deste projeto. Um grande abraço!

A Profa. **Alda Lucia Gomes Monteiro**, pela oportunidade inicial ao aceitar e confiar o meu estágio de conclusão de curso junto ao seu grupo de pesquisa (LAPOC), quando a semente foi plantada sendo bem cultivada, culminando nesse trabalho.

Aos amigos e colegas **Cláudio, Damaris, Édson, Gabriela, Jordana, Marina, Odilei, Sérgio, Susana, Thiago, Thayla** (equipe LAPOC) pelo apoio, incentivo, e momentos felizes fundamentais durante a caminhada na pós-graduação, tornando-a menos árdua. A vocês sou muito grato e devo muito. Um grande abraço!

Ao amigo durante todos esses anos **Fernando Hentz**, colega de longa data, desde a graduação, republicas até agora. Quanta história...Um forte quebra costela tchê, e muitas oportunidades nas trilhas por onde passar.

Ao funcionário da Secretária do Departamento de Zootecnia, **Oswaldo**, pelas boas conversas e por permitir a realização de várias ligações telefônicas, ajuda fundamental.

A **Huibert Pieter Janssen**, funcionário da Cooperativa Castrolanda pelo pronto atendimento na realização desse trabalho. Ao produtor rural **Hans Jan Groenwold** pela colaboração com o trabalho.

A empresa **Sanphar/Biomin**, pelo financiamento da pesquisa e ao **CNPq** e **REUNI** pela bolsa cedida.

Aos professores, do Departamento de Zootecnia, Medicina Veterinária e Agronomia pela amigável acolhida, convivência e experiência transmitida durante a realização do curso.

Aos colegas do curso de pós-graduação, pela amizade e companheirismo durante a realização do curso.

Aos técnicos e funcionários da Universidade Federal do Paraná pela paciência, atenção e dedicação na realização dos trabalhos.

A todos aqueles que, embora não mencionados, contribuíram em sobremaneira durante essa etapa da minha vida.

ADITIVO MICROBIANO NA SILAGEM DE MILHO EM DIFERENTES TEMPOS DE ARMAZENAMENTO E AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE AERÓBIA POR TERMOGRAFIA EM INFRAVERMELHO

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo estudar fatores relacionados à ensilagem de milho (*Zea mays* L.) considerando a aplicação de aditivos microbianos sobre a composição químico-bromatológica, perdas fermentativas e estabilidade aeróbia, avaliada mediante a aplicação de nova metodologia por imagens em infravermelho. A presente dissertação foi dividida em dois capítulos. No primeiro avaliou-se o desempenho de um aditivo microbiano, combinando bactérias homo e heteroláticas aplicado na ensilagem de milho e armazenado por diferentes períodos (30, 60, 90 e 120 dias), composição bromatológica, perdas fermentativas e estabilidade aeróbia das silagens. O experimento foi realizado em esquema fatorial 2x4, utilizando-se silos experimentais para a confecção das silagens. A composição bromatológica foi afetada pelos tratamentos testados. Silagens com aditivo apresentaram maiores teores de fibras e cinzas. Houve diferença na composição bromatológica para os diferentes tempos de armazenamento. As perdas de matéria seca avaliadas (efluente, gases, perda total de matéria seca) não foram afetadas pelos tratamentos. As perdas fermentativas foram maiores nos maiores períodos de armazenamento. O aditivo não alterou a composição dos ácidos orgânicos (acético, propiônico, butírico, láctico), e reduziu o etanol, com pequena produção para ambas as silagens. A aplicação do aditivo não interferiu nas variáveis de estabilidade aeróbia entre os tratamentos testados. Houve diferença para estabilidade aeróbia entre os tempos de armazenamento avaliados, porém sem explicação biológica evidente para os resultados. No segundo capítulo foi realizada avaliação durante o ensaio de estabilidade aeróbia, das silagens de milho, realizado em sala climatizada (25 ± 1 °C) com coletas de temperatura por termografia em infravermelho três vezes ao dia durante 148 horas. Foram avaliadas correlações de Pearson entre a temperatura por infravermelho, realizadas por câmera termográfica, com as temperaturas internas registradas por *data loggers* inseridos nas silagens. Ocorreu moderada correlação (0,55; 0,54 e 0,46) para as variáveis IMAX (temperatura máxima obtida na termografia em infravermelho); IMED (temperatura média obtida na termografia em infravermelho) e IMIN (temperatura mínima obtida na termografia em infravermelho), respectivamente, com as TINT (temperaturas internas da silagem) avaliada com *data loggers*. Houve diferença para as temperaturas IMAX, IMED e IMIN para os diferentes tempos de armazenamento das silagens. O uso da termografia em infravermelho para avaliação da estabilidade aeróbia de silagens deve ser melhor avaliada, não substituindo os dados obtidos por temperatura de contato.

Palavras-chave: *data logger*, heterolático, homolático, imagens, perdas, temperatura

MICROBIAL ADDITIVE ON CORN SILAGE STORED BY DIFFERENT PERIODS AND AEROBIC STABILITY EVALUATION USING INFRARED THERMOGRAPHY

ABSTRACT

This work aimed to study factors related to corn ensiling (*Zea mays* L.). A microbial additive was evaluated over the chemical composition, fermentative losses and aerobic stability using infrared thermography. This master degree thesis is composed by two chapters. The first trial evaluated a microbial additive combining homo heterolactic bacteria on corn silages stored by 30, 60, 90 or 120 days, over the chemical composition, dry matter losses and aerobic stability. The experiment was performed as a 2x4 factorial design, using lab silos. The chemical composition was influenced by the factors. Silages with additive showed higher levels of fiber and ash. The storage period affected the chemical composition. The evaluated dry matter losses (effluent gases, total loss) were not affected by treatments, and their were higher as the storage period had increased. The additive did not alter the composition of organic acids (acetic, propionic, butyric, lactic), but decreased ethanol content, that was low for all silages. The additive did not increased the aerobic stability variables. There were differences in aerobic stability due to storage period, regardless no biological explanation could be done. The second trial was performed during the aerobic stability trial, where corn silages were held in a climate room (25 ± 1 °C), and the temperature were measured by infrared thermography three times a day for 148 hours. The Pearson correlations were evaluated among temperature taken by mobile thermographic infrared camera and internal temperatures recorded by data loggers buried on the silage. There were moderate correlations (0.55, 0.54 and 0.46) for the variables IMAX - maximum temperature by infrared thermography; IMED - medium temperature by infrared thermography and IMIN - minimum temperature by infrared thermography, with TINT - internal temperatures of silages. There were differences for IMAX, IMED and IMIN among storage periods. The infrared thermography application for aerobic stability evaluation must be improved by other studies, and do not substitute the usual contact measures of temperature.

Key Words: data logger, heterolactic, homolactic, images, losses, temperature

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Desenho esquemático do funcionamento da câmera termográfica: emissão de radiação infravermelha da silagem, interferência da atmosfera e geração da imagem em infravermelho do objeto (termografia)36
- Figura 2. Gráfico da diferença de temperatura, gerado pela subtração da temperatura das silagens de cada repetição pela temperatura ambiente, demonstrando a quebra da EA e a temperatura máxima das silagens durante fase de exposição aeróbia, para os tratamentos controle e aditivo.....72
- Figura 3. Produções de CO₂ e curva de temperatura (diferença entre temperatura ambiente) de silagens de milho de planta inteira, sem aditivo (controle) ou com aditivo microbiano (aditivo) expostas em condição aeróbia por 140 horas.....73
- Figura 4. Termografia em infravermelho da silagem de milho durante fase de exposição aeróbia. Verifica-se o local selecionado (quadrado) no centro da imagem, com os registros da temperatura máxima, média e mínima (dia 06/09/2009 as 10:06:54 horas)86
- Figura 5. Temperaturas máxima (IMAX), média (IMED) e mínima (IMIN) na termografia em infravermelho, das silagens de milho armazenadas por quatro períodos diferentes e expostas ao ar, em relação à temperatura ambiente da sala climatizada (TAMB).94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dados meteorológicos observados nos períodos de janeiro a maio de 2009, referente aos meses de desenvolvimento da lavoura de milho para ensilagem no município de Castro/PR	54
Tabela 2. Composição bromatológica da planta de milho no momento da ensilagem.....	58
Tabela 3. Composição químico-bromatológica e valores de pH das silagens de milho sem aditivos (controle) ou inoculada com aditivo microbiano (aditivo)	63
Tabela 4. Composição químico-bromatológica da silagem de milho em função do tempo de armazenamento.....	65
Tabela 5. Perdas fermentativas da silagem de milho sem aditivos (controle) ou inoculada com aditivo microbiano (aditivo).....	66
Tabela 6. Perdas fermentativas e de energia da silagem de milho em função dos tempos de armazenamento	67
Tabela 7. Teor dos ácidos graxos voláteis (acético, propiônico e butírico), ácido láctico e etanol nas silagens de milho (% da MS)	68
Tabela 8. Teor dos ácidos graxos voláteis (acético, propiônico e butírico), ácido láctico e etanol em função dos tempos de armazenamento (%MS)	69
Tabela 9. Estabilidade aeróbia da silagem de milho sem aditivos (controle) ou inoculada com aditivo microbiano (aditivo).....	70
Tabela 10. Estabilidade aeróbia da silagem de milho em função do tempo de armazenamento.....	74
Tabela 11. Coeficientes de correlação (r) entre as temperaturas medidas por termografias em infravermelho e as temperaturas internas das silagens expostas ao ar ou temperatura ambiente registrados por <i>data loggers</i> ..	88
Tabela 12. Médias e respectivos erros padrão das variáveis de temperatura registradas por termografia em silagens armazenadas por diferentes períodos.....	92

LISTA DE ABREVIATURAS

- AGV** – ácidos graxos voláteis
- CO₂** - dióxido de carbono
- CO₂max** – produção máxima de CO₂
- CO₂140** – produção acumulada de CO₂ após 140 horas
- COV** – compostos orgânicos voláteis
- DFD** – *dark, firm, dry*
- EA** – estabilidade aeróbia
- EPM** – erro padrão da média
- EE** – extrato etéreo
- FDA** – fibra em detergente ácido
- FDN** – fibra em detergente neutro
- ha** – hectare
- HCO₂max** – horas para atingir a produção máxima de CO₂
- HTMax** – horas para a temperatura máxima
- IMAX** – temperatura máxima obtida na termografia em infravermelho
- IMED** – temperatura média obtida na termografia em infravermelho
- IMIN** – temperatura mínima obtida na termografia em infravermelho
- IRGA** – analisador de gás em infravermelho
- MS** – matéria seca
- MV** – massa verde
- N** - nitrogênio
- N-NH₃** – nitrogênio amoniacal
- °C** – graus celsius
- PB** – proteína bruta
- pH** – potencial hidrogeniônico
- PMS** – perda total de matéria seca
- PSE** – *pale, soft, exudative*
- r** – coeficiente de correlação
- t** - tonelada
- TAMB** – temperatura ambiente
- TINT** – temperatura interna da forragem
- TIV** – termografia em infravermelho

TMax – temperatura máxima

TMP – tamanho médio da partícula

UFC – unidades formadoras de colônia

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	19
2 REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1 Características da planta de milho para produção de silagem	21
2.2 Pesquisa com silos experimentais	23
2.3 Microrganismos na silagem e fermentação	24
2.4 Aditivos	24
2.4.1 Aditivos microbianos	26
2.4.1.1 Homoláticos	27
2.4.1.2 Heteroláticos	28
2.5 Produção de ácidos orgânicos e qualidade das silagens	30
2.6 Perdas inerentes ao processo de ensilagem: efluente, gases e perda de matéria seca	31
2.7 Estabilidade aeróbia	33
2.8 Termografia em infravermelho (TIV)	35
2.8.1 Emissividade	37
2.8.2 Aplicações da técnica por imagens em infravermelho na agropecuária	37
2.8.2.1 Imagens em infravermelho na produção animal	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
CAPÍTULO I - AVALIAÇÃO DE ADITIVOS CONTENDO BACTÉRIAS HOMO E HETEROLÁTICAS SOBRE A ESTABILIDADE AERÓBIA E QUALIDADE FERMENTATIVA DE SILAGEM DE MILHO	50
RESUMO	50
ABSTRACT	51
3 INTRODUÇÃO	52
3.1 MATERIAL E MÉTODOS	53
3.2.1 Local do experimento	53
3.2.2 Caracterização climática da região e histórico da área	54
3.2.3 Desenho experimental e tratamentos	54

3.3.4 Ensilagem.....	55
3.2.5 Silos experimentais	55
3.2.6 Abertura dos silos experimentais	56
3.2.6.1 Quantificação da produção de gases	56
3.2.6.2 Quantificação da produção de efluente	57
3.2.6.3 Quantificação da perda total de MS	57
3.2.7 Amostragens	58
3.2.7.1 Coleta de amostras na ensilagem	58
3.2.7.2 Coleta de amostras nas aberturas dos silos experimentais	58
3.2.8 Análises químico-bromatológicas.....	59
3.2.9 Avaliação da estabilidade aeróbia.....	60
3.2.10 Avaliação da produção de dióxido de carbono (CO ₂).....	61
3.2.11 Análise estatística	61
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	62
4.4.1 Composição bromatológica	62
4.4.2 Perdas por gases e efluente.....	65
4.4.3 Teor dos ácidos orgânicos e etanol.....	67
4.4.4 Estabilidade aeróbia.....	70
4.5 CONCLUSÕES	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
CAPÍTULO II - METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO QUALITATIVA DA SILAGEM DE MILHO POR IMAGENS EM INFRAVERMELHO EM FASE DE ESTABILIDADE AERÓBIA.....	80
RESUMO.....	80
ABSTRACT	81
5 INTRODUÇÃO	82
5.1 MATERIAL E MÉTODOS.....	83
3.2.1 Local do experimento	83
3.2.3 Desenho experimental e tratamentos.....	84
5.1.3 Coleta de imagens	84

5.1.4 Ajuste do equipamento.....	85
5.1.5 Processamento das imagens	85
5.1.6 Análise de correlação linear	86
5.1.7 Análise estatística	87
5.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	88
5.2.1 Correlação entre as temperaturas por infravermelho e temperaturas internas da silagem.....	88
5.2.2 Temperaturas em função do tempo de armazenamento das silagens.....	91
5.3 CONCLUSÕES	95
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96
CONSIDERAÇÕES FINAIS	98
ANEXOS	99

1 INTRODUÇÃO GERAL

A conservação de forragens na forma de silagens é uma prática comum de suplementação volumosa de ruminantes em todo o mundo. A ensilagem é o método mais adequado para a conservação desses alimentos volumosos e, quando bem feita, mantém as características nutricionais da planta, com perdas mínimas em quantidade e qualidade, podendo ser utilizada como suplemento nos períodos de baixo crescimento das pastagens, inclusive como principal alimento volumoso.

Possíveis falhas durante o processo de produção e fermentação da silagem podem comprometer a qualidade desse alimento e elevar as perdas fermentativas. Da mesma forma, as perdas na fase posterior a abertura do silo podem ser elevadas e os produtos secundários decorrentes da degradação aeróbia (fungos, toxinas, entre outros) interferem na manutenção da qualidade da silagem.

Nesse aspecto, tecnologias microbiológicas, como os aditivos microbianos específicos para silagens, são desenvolvidos em laboratório e aplicados a campo como forma de reduzir as perdas fermentativas e proporcionar silagens de elevada qualidade. Esses aditivos possuem características distintas em relação a sua função. Alguns são adequados para acelerar o processo fermentativo (aditivos homoláticos), outros são benéficos em postergar a degradação aeróbia das silagens (heteroláticos). A utilização de ambos aditivos apresentam objetivos em comum de redução das perdas de matéria seca e manutenção de seus constituintes nutricionais originais, porém com ação em momentos diferentes no processo de produção da silagem.

Aliado a essas tecnologias, novas metodologias de avaliação de silagens estão sendo desenvolvidas. Dentre essas, a utilização de termografia em infravermelho vem sendo avaliada como ferramenta de avaliação do crescimento microbiano e de possíveis contaminantes tóxicos (micotoxinas) que ocorrem durante a produção e utilização da silagem.

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a eficiência da utilização de aditivo microbiano no processo de conservação de silagens de milho em diferentes tempos de armazenamento, e estudar o uso da termografia em infravermelho na avaliação da estabilidade aeróbia da silagem de milho.

Para organizar a distribuição dos trabalhos desenvolvidos nesta dissertação, foi realizada a redação em forma de capítulos, onde:

- O Capítulo I intitulado **Aditivo contendo bactérias homo e heteroláticas e os parâmetros fermentativos, perdas e estabilidade aeróbia das silagens de milho**, tem o objetivo de avaliar a eficiência da utilização de aditivo microbiano no processo de conservação de silagens de milho em diferentes tempos de armazenamento.

- O Capítulo II intitulado **Metodologia para avaliação da estabilidade aeróbia da silagem de milho por termografia em infravermelho**, tem o objetivo de estudar o uso de termografia em infravermelho na avaliação da estabilidade aeróbia em silagem de milho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Características da planta de milho para produção de silagem

O aumento da produtividade dos animais, mediante confinamentos de gado leiteiro e de corte, assim como a estacionalidade da produção das pastagens, com redução na quantidade e qualidade dos nutrientes, torna-se inevitável a destinação de áreas específicas para o cultivo de grandes quantidades de forragem, visando atender a demanda de consumo pelos animais. De acordo com ROLIM (1994) as temperaturas baixas, déficit hídrico e redução do fotoperíodo reduzem a produtividade das pastagens tropicais, onde somente 10 a 20% da produção forrageira anual é produzida neste período. Assim, a ensilagem é o método mais adequado para a conservação desses alimentos volumosos que, quando bem feita, mantém as qualidades nutricionais da planta, com perdas reduzidas.

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta de origem tropical pertencente a família Gramineae/Poaceae. Frequentemente a pesquisa tem desenvolvido diferentes variedades de milho, permitindo seu cultivo desde o Equador até o limite das terras temperadas, e desde o nível do mar até as altitudes superiores a 3.600 m (MAGALHÃES et al. 2002). Essa adaptação representada por diferentes genótipos/híbridos determina multiplicidade de uso dessa planta como alimento para ruminantes, na forma direta (grão), processada (silagem, farelo), bem como na indústria.

O milho pertence ao grupo das plantas com metabolismo do tipo C₄, que se caracteriza pelo elevado potencial produtivo, estando no grupo das espécies com maior eficiência do uso da radiação solar. Essa eficiência é atribuída à anatomia foliar, por apresentar menor área entre as nervuras e lamela suberizada, o que previne a perda de dióxido de carbono (CO₂) para o meio (HATTERSLEY, 1984 citado por BERGAMASCHI et al., 2004). O milho praticamente não apresenta saturação por radiação solar, pelo fato de ser uma planta C₄, uma vez que o mecanismo de concentração de carbono provoca uma saturação deste composto no sítio da enzima rubisco, não permitindo a limitação da carboxilação (TAIZ et al., 2004).

Diante dessas e outras características de eficiência em aproveitamento da luz solar para produção de forragem, a silagem de milho destaca-se mundialmente

como o volumoso mais utilizado em confinamentos, semi-confinamentos ou como suplemento, em virtude de seu elevado teor de energia por quilograma de matéria seca e rendimento em produtividade por área. Ainda, apresenta adequadas características à uma planta para ser ensilada: teor de matéria seca entre 30 a 35%, mínimo de 3% de carboidratos solúveis na matéria original, baixo poder tampão e boa fermentação microbiana (DEMINICIS et al. 2009).

ÍTAVO et al. (2000) avaliaram a composição bromatológica de silagem de milho, e encontraram valores de 31,0; 8,3; 45,1; 20,1 e 1,1% para matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e extrato etéreo (EE), respectivamente. Esses valores contrastam aos verificados por TOMICH et al. (2006) que verificaram teores de 27,3; 7,2; 51,5; e 32,4; 4,0 para as variáveis de MS, PB, FDN, FDA e Lignina. Essas variações ocorrem em função das diferentes variedades de milho, idade de corte, confecção e forma de armazenagem das silagens. HUNTER (1978) verificou que 60% da matéria seca da silagem é constituída por parede celular (FDN, FDA e Lignina), sendo a digestibilidade dessas partes essencial para adequada qualidade das silagens.

Recentemente, a engenharia genética ampliou as possibilidades de melhoramento de diversos cultivares do milho. A utilização de híbridos de milho manipulados geneticamente, entre eles o mais conhecido é o milho Bt que produz a toxina do *Bacillus thuringiensis*, na safra 2008/2009 pode ser considerado um marco importante para a produção de milho grão e silagens de milho no Brasil. De acordo com revisão de PEREIRA (2009), estudos conduzidos na Universidade de Iowa (EUA), com a finalidade de avaliar possíveis alterações na qualidade de silagens de milho Bt em relação os convencionais, verificaram que não houve diferença na composição bromatológica entre híbridos Bt e não Bt, da mesma forma para o seu valor nutricional, produtividade, composição do leite, parâmetros sanguíneos e metabólicos das vacas, podendo ser utilizado seguramente para produção de silagem.

O milho é recomendado pelas suas características de qualidade, facilidade de fermentação no silo e boa aceitação pelos animais, refletindo-se em bons rendimentos (OLIVEIRA et al., 2007). A correta aplicação das técnicas de ensilagem resulta num adequado processo fermentativo com manutenção do valor nutritivo da massa ensilada até o fornecimento aos animais, tornando-se uma prática eficiente e rentável.

2.2 Pesquisa com silos experimentais

O uso de silos experimentais, também chamados de “minisilos” para pesquisas com silagens tem sido prática comum, embora não exista nenhuma padronização sobre esses equipamentos (JOBIM et al., 2007). O uso de silos experimentais não é recente. BARCOCK et al. (1901) utilizaram silos de ferro com a finalidade de estudar silagens. NEUMANN et al. (2007), em ampla revisão de literatura, constaram que grande parte dos trabalhos de pesquisa, que avaliaram a qualidade e o valor nutritivo da silagem foram realizados em silos experimentais de PVC.

A literatura apresenta diversos tipos de silos experimentais: tubos de PVC, baldes plásticos de diferentes volumes, bolsas de polietileno, jarros de vidro, manilhas de cerâmica, tubos de ensaio e tambores de plástico ou concreto. Independente do tamanho ou tipo do silo o objetivo comum é reproduzir as condições de campo, porém com a vantagem de permitir avaliação de um número maior de variáveis e repetições, com facilidade de manipulação e baixo custo.

Conforme dados apresentados por RODRIGUES et al. (2002a) que compararam diferentes tipos de silos de grande escala com silos laboratoriais, em silagem de milho, de forma geral, os minisilos representaram bem os valores de pH e nitrogênio amoniacal dos silos grandes, da mesma forma para a composição dos ácidos orgânicos e etanol. PEREIRA et al. (2005) comparando três tipos de silos experimentais, verificaram diferença nos teores de MS, nitrogênio amoniacal, carboidratos solúveis e ácido lático das silagens de girassol.

RODRIGUES et al (2002b) compararam três diferentes silos experimentais: baldes plásticos, sacos plásticos e manilhas de concreto não impermeabilizadas, em relação ao silo grande tipo trincheira para ensilagem de Capim Elefante (cv. Napier), e verificaram que silagens produzidas em manilhas de concreto não impermeabilizadas apresentaram altos valores de pH, nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA) e lignina, baixas concentrações de ácido lático e nitrogênio amoniacal, baixo poder tampão e baixa digestibilidade *in vitro*. Segundo os autores, o tipo de silo usado pode alterar as características da forragem, e em geral, as silagens produzidas em minisilos apresentam melhores características fermentativas em relação às provenientes de silos de grande escala.

2.3 Microrganismos na silagem e fermentação

A presença natural ou inoculada de microrganismos na ensilagem é necessária para que ocorram os processos de fermentação e conservação da massa ensilada. A preferência é dada às bactérias produtoras de ácido lático para uma adequada fermentação e bactérias ácido acéticas/propiónicas para a manutenção da qualidade da silagem após contato com o ar.

No processo de ensilagem ocorre acidificação da forragem mediante fermentação anaeróbia dos carboidratos solúveis da planta à ácidos orgânicos (McDONALD et al., 1991). O acúmulo desses ácidos estabiliza o material, com suas propriedades nutritivas conservadas, desde que não haja penetração de ar ou água na massa de forragem (WOOLFORD, 1990).

A penetração do oxigênio na massa ensilada propicia a atuação de microrganismos deterioradores que consomem açúcares solúveis e os ácidos orgânicos, resultando em elevação no pH, redução na digestibilidade, no conteúdo de energia e na proliferação de microrganismos indesejáveis e potencialmente patogênicos. Como estratégia no controle dessas perdas, existe a tecnologia dos aditivos microbianos, com ação indireta pela produção de ácidos orgânicos sobre os microrganismos deterioradores.

2.4 Aditivos

De acordo com McDONALD et al. (1991), os aditivos para silagem podem ser classificados em cinco categorias principais: *estimulantes da fermentação*, que agem por meio da adição de culturas bacterianas ou fontes de carboidratos; *inibidores da fermentação*, que agem inibindo parcial ou totalmente a fermentação; *inibidores da deterioração aeróbia*, que agem principalmente controlando a deterioração da silagem em exposição ao ar; *nutrientes*, que são adicionados no material para melhorar o valor nutricional da silagem, e *absorventes*, que são adicionados principalmente nas forragens com baixo teor de matéria seca para reduzir perdas de nutrientes por efluentes e diminuir a poluição ambiental.

Alguns autores afirmam que na ensilagem do milho não existe necessidade de aditivos para o estímulo da fermentação (FARIA, 1993; VILELA, 1998; AMARAL, 2010), pois no ponto de colheita correta, o teor de matéria seca acima de 30% e a

presença de população epifítica de *Lactobacillus*, inibem os processos fermentativos indesejáveis. A utilização de aditivos seria necessária, e sua ação mais eficaz, quando a planta ensilada não é de boa qualidade, ou quando ocorrem falhas no processo de ensilagem, ou de retirada da forragem após a abertura dos silos.

Trabalhos de pesquisa têm verificado mais sucesso com inoculantes aplicados na ensilagem de capins e leguminosas do que na ensilagem do milho (MUCK, 1993), possivelmente pela mais elevada população de microrganismos presentes nessa última. Segundo o autor, os inoculantes foram menos eficientes em melhorar a fermentação na silagem de milho (40% dos casos), em relação a alfafa (75% dos casos) ou capins (71% dos casos). Algumas características intrínsecas a própria espécie de plantas podem interferir sobre os resultados da ação dos inoculantes.

O sucesso da utilização de inoculantes microbianos relaciona-se diretamente à compatibilidade entre microrganismos utilizados e a planta (MUCK, 1996). HILL (1989), citado por MUCK (1996) verificou que quando três “linhagens” de *Lactobacillus plantarum*, isoladas de milho, sorgo, alfafa, foram juntamente inoculadas em cada planta, a “linhagem” dominante em cada silagem foi a natural de cada planta.

Assim, a aplicação de aditivos microbiológicos a partir de bactérias da própria planta a qual se deseja ensilar deve ser levada em consideração para um bom desempenho do aditivo, ou seja, um inoculante desenvolvido para determinada forragem, não necessariamente terá o mesmo efeito em outras espécies de plantas ensiladas.

Para considerar uma avaliação completa sobre a efetividade da ação de um aditivo, avaliações de seu efeito no desempenho animal são necessárias, porém, ensaios avaliando o efeito de aditivos microbianos na ensilagem sobre o desempenho dos animais ainda são bastante limitados. Revisando a literatura, KUNG Jr. (2009) verificou que de 14 publicações científicas que avaliaram o componente animal na inoculação microbiana de silagens de milho, apenas três apresentaram efeito positivo sobre o desempenho dos animais. MUCK (1996) ressaltou que os aditivos, por inibirem a produção de toxinas na silagem após a abertura dos silos, podem ter efeito positivo sobre o ambiente ruminal.

A elevação da solubilização da celulose nas silagens de milho favorece diretamente a maior preservação dos nutrientes e provavelmente ocorra influência

na produção de ácidos orgânicos das silagens. Isso indica que a utilização de aditivos microbianos em silagens ricas em grãos e que possuem altos teores de carboidratos solúveis é justificável, por assegurar a maior preservação da massa ensilada por meio da solubilização tardia de alguns substratos, que estão diretamente relacionados à adequadas manutenções do meio (por exemplo pH) e dos microrganismos desejáveis (KUNG Jr, 2001).

Porém, conforme FERLON et al. (1995) a maior disponibilização de açúcares para o processo de fermentação de silagens ricas em grãos pode ser negativa, sendo que existe a possibilidade desses açúcares também favorecerem a produção de álcoois pelas leveduras, representando aumento de perdas de matéria seca e de maior probabilidade de putrefação da silagem após a abertura do silo e redução de consumo de silagem pelo animal. Assim, a elevação na recuperação da MS ensilada deve ser a principal variável de avaliação na escolha de um aditivo.

2.4.1 Aditivos microbianos

O uso de aditivos microbianos na ensilagem tem por objetivo minimizar as perdas fermentativas e elevar a estabilidade da silagem em aerobiose, sobretudo em condições adversas de manejo. Na ensilagem do milho, o uso de aditivos tem como objetivo garantir que bactérias lácticas dominem a fermentação, resultando em uma silagem bem conservada (McDONALD et al., 1991). De acordo com KUNG Jr. (2009) os aditivos microbianos, entre outras funções, devem inibir também o crescimento de microrganismos aeróbios após a abertura dos silos, em especial aqueles associados à instabilidade aeróbia, como exemplo as leveduras e fungos.

McDONALD et al. (1991) apontaram os seguintes gêneros de microrganismos como os mais importantes no processo de fermentação láctica: *Lactobacillus sp.*, *Pediococcus sp.*, *Leuconostoc sp.*, e *Streptococcus sp.* Os autores ainda afirmaram que, inicialmente, muitos produtos não continham número suficiente de organismos vivos para superar a população natural de microrganismos e dominar a fermentação, sendo a elevação na fermentação láctica bem sucedida quando verificada nas taxas de aplicação de *L. plantarum* de 10^6 e 10^8 , em relação a 10^4 unidades formadoras de colônia (UFC) por grama de forragem fresca. Segundo MERRY et al. (1993) a taxa de aplicação de 10^6 tem sido bem aceita. Dessa forma, resultados positivos esperados da ação dos inoculantes dependem da quantidade

de bactérias provenientes na cultura a ser ensilada e do poder tamponante. Contudo, atualmente, questões econômicas norteiam a quantidade de UFC aplicada mediante aditivos comerciais que, em sua ampla maioria, trabalham com doses entre 5×10^4 UFC/g forragem fresca.

Segundo revisão de ANDRADE (2000) a literatura indica diferentes comportamentos quando se utilizam os inoculantes para o milho. Para alguns autores, a aplicação de inoculantes tem aumentado a produção de ácido láctico durante o início da fermentação, ou ainda melhorando a recuperação da matéria seca após a fermentação, mas muitos trabalhos não apresentam respostas consistentes. KUNG Jr. (2009) afirma que as perdas de MS foram reduzidas com o uso de aditivos em apenas 35% dos estudos. Neste sentido, SHAVER (2000) argumentou que as condições de maior probabilidade de sucesso no uso de inoculantes na silagem de planta inteira de milho são quando a planta estiver excessivamente verde ou seca, ou logo após uma forte geada, onde a população natural é menor ou menos competitiva do que as bactérias contidas no inoculante. Assim, espera-se que um bom aditivo seja capaz de reduzir as perdas fermentativas durante o processo.

2.4.1.1 Homoláticos

A função primordial dos produtos a base de bactérias homoláticas, é elevar a sua população dentro do silo em relação as colônias epifíticas existentes na forragem, com isso, elevar a produção de ácido láctico e favorecer o adequado processo de fermentação anaeróbia PAHLOW (1991).

As principais bactérias homoláticas utilizadas em silagens são *L. plantarum*, *Pediococcus spp.* e *L. acidophilus* McDONALD et al. (1991), as quais fermentam os açúcares disponíveis em ácido láctico. Na teoria, a utilização dos inoculantes microbianos promove a elevação na eficiência fermentativa (relação superior ácido láctico/acético), diminuindo a proteólise e a deaminação da proteína, com uso mais adequado dos carboidratos solúveis e conseqüentemente, maior retenção dos nutrientes na silagem (KUNG Jr. et al., 2003 citado por BERNARDES, 2006).

No entanto McDONALD et al. (1991) e ZOPOLLATTO et al. (2009) afirmam que são necessárias 10^8 bactérias ácido lácticas por grama de forragem fresca para que o pH decline rapidamente, porém algumas hipóteses para o insucesso da

utilização de inoculantes em silagens podem estar relacionada a atividade competitiva da população epífita da planta.

A elevada carga de bactérias epifíticas presentes nas forrageiras para ensilagem, tem sido utilizada para explicar a variação dos resultados de experimentos com aditivos microbianos (SANDERSON, 1993). HARRISON et al. (1989) em ensaio com gramínea-leguminosa verificaram a contagem de *Lactobacillos* e *Streptococos* epifitas foram baixas (10^3 /g de MV) em comparação ao número de bactérias ácido lácticas adicionadas (10^5 a 10^6 /g de MV). Em contraste, SANDERSON (1993) avaliando inoculantes em silagem de sorgo, verificou contagem elevada de *Lactobacillos* e *Streptococos* epifíticos (10^5 a 10^8 /g de MV) em relação ao número de bactérias ácido lácticas aplicadas ($1,1 \times 10^5$ /g de MV).

Em ensaios realizados no Brasil com os híbridos de milho AG 510 e AG 5011, ANDRADE (2000) concluiu que alterações bromatológicas e fermentativas mínimas foram obtidas com o uso dos inoculantes, não havendo efeito significativo da ação dos inoculantes sobre a composição da silagem. O mesmo comportamento foi observado por RODRIGUES et al. (2004), avaliando três inoculantes comerciais a base de bactérias homoláticas.

Os inoculantes tradicionais promovem a formação de ácido láctico, ideal para o rápido abaixamento do pH do silo e consequente estabilização, com perdas reduzidas. Porém, McDONALD et al. (1991) afirmam que em condições de anaerobiose, leveduras podem se desenvolver mesmo em pH inferior a 2, desde que haja carboidratos solúveis no meio. Assim, uma vez aberto o silo para consumo, o ácido láctico é usado no metabolismo das leveduras, servindo como substrato dessas, sendo necessárias outras estratégias de ação, a exemplo, bactérias heteroláticas.

2.4.1.2 Heteroláticos

A pesquisa e os interesses das indústrias estiveram por um longo período voltados ao desenvolvimento e aperfeiçoamento de tecnologias com base nas bactérias homoláticas. No entanto, pesquisas estão sendo desenvolvidas com bactérias heteroláticas e a combinação destas com o objetivo de melhorar a fermentação e controlar as perdas relacionadas à deterioração aeróbia após a abertura dos silos, quando a silagem entra em contato com oxigênio.

As bactérias heteroláticas metabolizam o ácido láctico e a glicose presentes durante a fermentação para síntese de ácido propiônico e ácido acético, eficazes no controle de fungos e demais microrganismos deterioradores, em meio de baixo pH.

Com vistas em novas estratégias de controle das perdas após a abertura dos silos, foi apresentado comercialmente no início dessa década nos (EUA), a bactéria heterolática *Lactobacillus buchneri*, a partir de então tem-se realizado vários estudos avaliando os seus efeito na produção do ácido acético, número de bolores e leveduras, com melhoras na estabilidade aeróbia (KLEINSCHMIT et al. 2006). Mais recentemente estudos mostraram que algumas bactérias heteroláticas (*Lactobacillus buchneri*, *Lactobacillus brevis*) produzem também ferulato-esterases, enzimas que podem aumentar a degradação da parede celular, liberando mais carboidratos solúveis para a fermentação ou utilização pelas bactérias do rúmen (NSEREKO et al., 2008).

As bactérias *L. brevis-buchneri* são classificadas como bactérias heteroláticas por produzir substancialmente ácido acético dentre os outros ácidos. Essas bactérias estão naturalmente presentes na maioria das silagens, não sendo capazes de fermentar a glicose a etanol em condição anaeróbia pela falta da enzima acetaldeído-desidrogenase, necessária para reduzir acetaldeído a etanol (McDONALD et al. 1991). No entanto, a maioria das fermentações heteroláticas, é indesejável em função das elevadas perdas de matéria seca que ocorrem durante o processo fermentativo e reduzido potencial de acidificação (McDONALD et al. 1991). No entanto, a maior vantagem da utilização da *L. brevis* e *L. buchneri* em silagens, está no pós-abertura dos silos, quando a ação do acetato é considerado eficiente no controle indesejável de leveduras e fungos filamentosos (MOON, 1983).

De acordo com DRIEHUIS et al. (1999) bactérias heteroláticas são a base para um aditivo específico para os produtores com problemas na retirada da silagem, no caso de silos com dimensionamentos inadequados, ou condições inadequadas durante o processo de ensilagem, como: longo período para fechar o silo, alto teor de MS, tamanho da partícula inadequada para a ensilagem, problemas na compactação entre outros. DRIEHUIS et al. (1999), constataram que os números de leveduras diminuíram em silagens de milho tratadas com bactérias heteroláticas (*Lactobacillus buchneri*) com o aumento do tempo de armazenamento.

HIGGINBOTHAM et al. (1998) avaliaram o efeito de inoculantes microbianos contendo bactérias heteroláticas na ensilagem do milho com diferentes tempos de

armazenamento. Os autores verificaram tendência de efeito positivo do inoculante sobre a estabilidade aeróbia, bem como efeito do tempo de abertura sobre os componentes voláteis das silagens.

É necessário o desenvolvimento de mais pesquisas para avaliar a ação dessa tecnologia por bactérias heteroláticas como também a sua combinação com outras cepas de bactérias, verificando os resultados desta ação sinérgica entre os aditivos.

2.5 Produção de ácidos orgânicos e qualidade das silagens

A correta utilização de tecnologias e ferramentas para a confecção de silagens é fundamental para alcançar um produto de elevada qualidade. Os reflexos das boas práticas na produção de um volumoso conservado de qualidade são verificados na máxima recuperação de matéria seca, da energia e no desempenho animal.

Alimentos conservados na forma de silagens, com fermentação adequada, apresentam valores de pH entre 3,8 e 4,2, e teores de ácido láctico de 6,0 a 8,0% da MS, ácido acético menor que 2,0% da MS, ácido propiônico de 0,0 a 1,0% da MS e ácido butírico menor que 0,1% (FERREIRA, 2001).

Em ensaio para avaliar o efeito do aditivo microbiano sobre a composição e valor nutritivo de silagens de milho, KUNG Jr. et al. (1993) verificaram diferença significativa para os teores de lactato e acetato, na ordem de 4,7; 1,8% da MS e 5,3 e 2,3% da MS, para as silagens controle e aditivada, respectivamente. Porém, CLEALE et al. (1990) não verificaram diferenças nas produções desses ácidos orgânicos em silagem de milho inoculadas com aditivos microbianos.

LUTHER (1986), avaliando a inoculação microbiana com a bactéria *Lactobacillus plantarum* na silagem de milho, em silos tipo vertical e tipo *bunker*, não verificaram diferenças nas produções de ácidos graxos voláteis, embora os teores de lactato no ensaio em silos tipo vertical tenham apresentado valores de inferiores aos do tipo *bunker*, para os tratamentos controle e com aditivo. Contudo não houve alteração do pH. Para ambos os tipos de silo, a forragem de milho foi colhida em condições ideais.

MARI et al. (2009) verificaram teores de 4,1; 2,2; 0,3; 0,0 e 0,7% da MS e 4,8; 2,4; 0,2; 0,0 e 0,7% da MS para os ácidos láctico, ácido acético, ácido propiônico

e etanol para silagens de milho controle e aditivada com bactéria heterolática, respectivamente. A justificativa fundamentada pelos autores à não ocorrência de diferença estatística na produção do ácido acético (característica das silagens tratadas com bactérias heteroláticas) entre os tratamentos, foi a possível volatilização do ácido antes das coletas de amostras do painel do silo, e do metabolismo aeróbio de leveduras já ter sido iniciado nas silagens de milho amostradas.

Silagens de planta de milho, colhidas com diferentes teores de matéria seca (33 e 41%) inoculadas com bactérias heteroláticas e homoláticas, isoladas ou em combinação, foram avaliadas por HU et al. (2009). As bactérias heteroláticas não afetaram a concentração de ácido láctico em silagens com elevado teor de MS (41%), mas reduziu a concentração desse em silagens com MS normal (31%). Ainda, diferentemente de MARI et al. (2009), as maiores concentrações de ácido acético foram encontradas nas silagens tratadas com microrganismos heteroláticos. A inoculação com bactérias homoláticas aumentou a concentração de ácido láctico nas silagens com 31% de MS, e reduziu a produção de ácido acético nas silagens tratadas com bactérias homoláticas.

Em experimento realizado por ALLI et al. (1982) a inoculação aumentou em 70% a produção de ácido láctico em relação ao tratamento controle. RODRIGUES et al. (2004) não encontram efeito do inoculante microbiano para os teores de ácidos orgânicos e etanol. Assim, verifica-se grande variabilidade no padrão de resposta à aplicação de aditivos em silagens, conforme discutido por KUNG Jr. (2009).

2.6 Perdas inerentes ao processo de ensilagem: efluente, gases e perda de matéria seca.

As perdas de forragens conservadas podem ser estimadas pelo desaparecimento de energia ou da matéria seca (MS) durante o processo de produção da silagem. As perdas de energia relacionam-se à respiração celular residual durante o enchimento do silo e logo após a vedação. A produção de gases é decorrente da fermentação durante o período de armazenamento, intermediada por microrganismos indesejáveis que consomem os carboidratos, ocasionando perdas de MS na forma de CO₂ e diferentes compostos orgânicos voláteis (COV).

Na fermentação Clostrídica, onde os produtos gerados são ácidos fracos (ácido butírico), importante perdas por gás CO_2 , a partir do metabolismo da glicose e do ácido láctico presentes na ensilagem podem ocorrer.

O efluente das silagens é composto por grande quantidade de compostos orgânicos como: proteínas, ácidos, açúcares, carboidratos, minerais e entre outros (McDONALD et al., 1991). Portanto, a presença deste no silo é indesejável, devendo ser evitada para não proporcionar prejuízos ao processo fermentativo (OUDE ELFERINK et al., 2000), como o aumento da proteólise e o estabelecimento de bactérias do gênero *Clostridium* na massa ensilada.

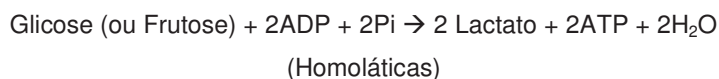
As perdas por efluente são influenciadas diretamente pelo elevado teor de umidade da massa ensilada. Foi encontrado redução progressiva na produção de efluente de silagem de gramínea com a elevação do teor de MS (MURDOCH, 1957, citado por JONES et al., 1995). Os mesmos autores constataram que plantas ensiladas com 16% de MS produziram 250 L/t de efluente, e não observaram presença de efluente quando utilizaram plantas com 30% de MS. JONES et al. (1995) consideram que o teor de 25% de MS é suficiente para prevenir a produção significativa de efluente. Além disso, o excesso de compactação e ação de enzimas da própria planta, responsáveis pela lise celular, podem causar extravasamento do conteúdo intracelular para o meio externo. O conjunto dessas perdas pode atingir de 7 a 40% (McDONALD et al., 1991).

IGARASI (2002) verificou relação inversa entre o tamanho médio de partícula (TMP) e a densidade de silagem, propondo que quanto menor o tamanho das partículas maior a densidade. Também foi observado que material com partículas muito pequenas elevam a produção de efluentes, verificado pela elevação da condutividade elétrica.

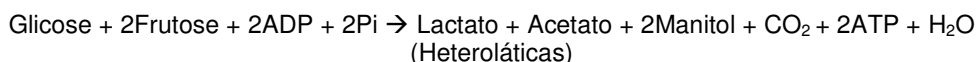
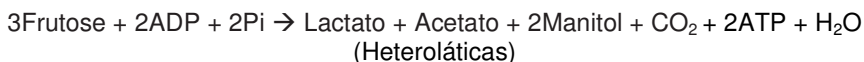
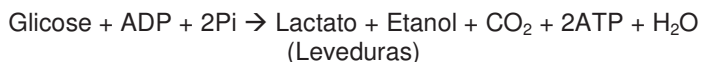
OLIVEIRA et al. (2010) avaliaram as perdas por efluente e gases, após 60 dias de fermentação, e constataram perdas na ordem de 2,2% da MS por gases e 20,4 Kg/t MV por efluente para silagens de milho. Esses valores foram inferiores aos verificados para as demais silagens de sorgo e de girassol.

Da mesma forma que o efluente, a produção de gases é uma forma importante de perda de MS durante o processo de fermentação da silagem. Conforme BALSABORE et al. (2001), essas perdas podem ser elevadas ou não, dependendo do tipo de fermentação. Fermentação por bactérias homoláticas, pela via glicolítica anaeróbia de açúcares (glicose e frutose), à ácido láctico, e ocorrência

da reoxidação da nicotinamida adenina dinucleotídeo (NAD) traduz-se em pequena perdas de energia (0,7 a 1,7%), segundo McDONALD et al. (1991), conforme a equação abaixo:



Porém, quando a fermentação da-se via citrato ou malato, típica de fermentações por bactérias heteroláticas, enterobactérias e leveduras, ocorre conversão de carboidratos da forragem em CO₂, álcool (etanol e manitol) e água, com perdas elevadas de matéria seca pela produção de gases (5 a 24%) (McDONALD et al. 1991), conforme equações abaixo. Esse efeito foi observado por BERNARDES (2006) nas silagem de milho tratada com a bactéria heterolática *Lactobacillus buchneri* (LB). FILYA (2003) verificou menor recuperação de matéria seca nas silagens de milho aditivadas com LB, resultado contrastante ao verificado por RANJIT et al. (2002).



Conforme verificado, as perdas de matéria seca e energia podem ser elevadas caso ocorram falhas durante o processo de fermentação e/ou manutenção das silagens.

2.7 Estabilidade aeróbia

O período após a abertura do silo constitui-se em uma fase crítica de todo o processo de ensilagem. Nessa fase, o material ensilado entra novamente em contato com o oxigênio (condição de aerobiose) e da-se início a oxidação dos açúcares solúveis e a degradação do ácido láctico produzido na fermentação, com potencial redução do valor nutritivo da silagem. A retirada irregular da espessura no

painel do silo, aliada ao intervalo elevado entre as retiradas e o fornecimento aos animais, pode prejudicar a qualidade das silagens.

A remoção de camadas inferiores a 15 cm proporcionam perdas de 11% de MS durante a fase de aerobiose (CLARK et al. 2008). Porém a espessura de retirada recomendada pode ser maior para silagens de alta umidade como as de planta inteira de milho e cereais de inverno (BOLSEN, 2003). Com passar do tempo de exposição da massa ensilada ao oxigênio, verifica-se o aquecimento do painel do silo, podendo-se chegar a temperaturas acima de 45°C (ROTZ et al., 1994). Os fatores determinantes do início do aquecimento dependem das características intrínsecas de cada silagem, concentração de microrganismos aeróbios, tempo de exposição, temperatura ambiente e a massa específica das silagens (MUCK et al. 1991). Silos menores permitem retiradas mais espessas do painel do silo, como também proporcionam melhor compactação pelas máquinas empregas no processo de ensilagem (WOOLFORD, 1990).

As pesquisas com forragem conservada, em especial silagem de milho, têm dedicado esforços em testar novos aditivos microbianos que sejam eficientes no controle da estabilidade aeróbia (EA). A EA conforme método descrito por KUNG Jr. et al. (2000) pode ser definida como o tempo em horas para elevação da temperatura em 2°C em relação ao ambiente. Na prática, a EA representa a resistência da silagem ao aquecimento, podendo ser caracterizada como a fase “LAG” de crescimento dos microrganismos aeróbios no painel do silo, após a qual ocorre a elevação da temperatura.

A contagem bacteriana epífita pode, entre outros fatores, interferir no controle da EA das forragens conservadas. Aliado a isso, a condução agrônômica das lavouras, como uso de adubação orgânica (dejeto suíno ou cama de frango) pode elevar a presença de microrganismos indesejáveis dentro do silo, comprometendo as etapas subsequentes de fermentação e estabilidade aeróbia.

A deterioração aeróbia da silagem é promovida pela ação de microrganismos que degradam o ácido láctico, causando a elevação do pH da silagem e permitindo o crescimento de outros microrganismos indesejáveis (McDONALD et al., 1991). Dessa forma, conforme KUNG Jr. (2009) os aditivos microbianos, entre outras funções, devem inibir o crescimento de microrganismos aeróbios. O acompanhamento da temperatura da silagem é o indicativo mais comum da estabilidade do material após a abertura dos silos, sendo desejável à um bom

aditivo a postergação do aquecimento da forragem e, conseqüentemente, a redução nas perdas de MS nessa etapa.

DANNER et al. (2003) afirmaram que o ácido acético é um forte inibidor da atividade de leveduras, microrganismos precursores da degradação aeróbia de silagens, sendo esses responsáveis pelo consumo de açúcares no processo, liberando dióxido de carbono resultante de seu metabolismo (MOON, 1983; McDONALD et al., 1991). Segundo esses autores, a inoculação das silagens com bactérias heteroláticas, que produzem os ácidos acético e/ou propiônico, é uma boa possibilidade para elevar a estabilidade de silagens em aerobiose.

Estudos realizados por FILYA et al. (2004), com a bactéria *Propionibacterium acidipropionici*, associada ou não ao *Lactobacillus plantarum* na fermentação de silagens de trigo, sorgo e milho, verificaram que *P. acidipropionici* foi eficiente no controle do desenvolvimento de leveduras e fungos filamentosos nas fases de fermentação e de estabilidade aeróbia. MARI et al. (2009) demonstraram que a bactéria heterolática *L. buchneri* apresentou comprovada eficácia em larga escala, sendo um meio eficaz de preservação e melhora da estabilidade aeróbia de silagens.

Poucos estudos são disponíveis avaliando a bactéria heterolática *L. brevis* sobre a EA de silagens. Contudo, McDONALD et al. (1991), afirmam que esse microrganismo produz grande quantidade de ácido acético, fazendo-se supor que os resultados obtidos possam ser semelhantes aos verificados com o *L. buchneri*.

2.8 Termografia em infravermelho (TIV)

É característica geral de todos os objetos sólidos, a emissão de radiação infravermelha (Figura 1), ocasionada pelos movimentos das moléculas celulares e deslocamentos de cargas eletromagnéticas, que são emitidas na forma de partículas de fótons, os quais se movem na velocidade da luz. O uso de radiação infravermelha na determinação da temperatura de superfície de um objeto sólido tem se tornado comum na indústria, onde essa tecnologia é usada para avaliar regiões de sobreaquecimento ou perda de calor em máquinas e componentes elétricos (GONZÁLES et al., 2005). Essa técnica de medida da temperatura consiste de um transdutor que converte a radiação infravermelha em sinal elétrico, denominado de pirômetro.

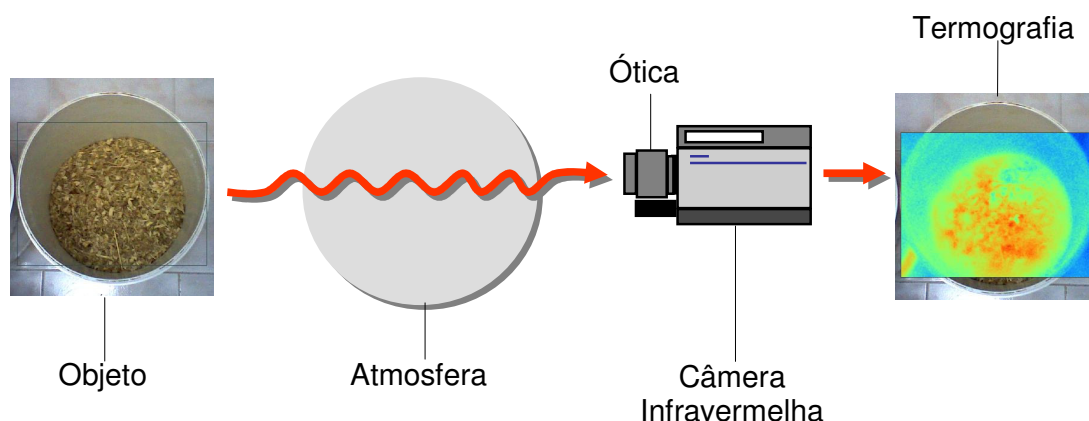


Figura 1. Desenho esquemático do funcionamento da câmera termográfica: emissão de radiação infravermelha da silagem, interferência da atmosfera e geração da imagem em infravermelho do objeto (Termografia).

Fonte: O autor.

O espectro eletromagnético de 7 a 14 μm é o utilizado para fins de medições de imagens térmicas em infravermelho, em específico as ondas médias 3 a 5 μm e ondas longas 8 a 14 μm , também conhecidas como bandas (KASTBERGER et al., 2003). O objetivo da utilização de imagens infravermelhas é a máxima obtenção de energia ou sinal infravermelho do objeto que se está medindo (Figura 1).

A termografia em infravermelho (TIV) é portanto, um método não invasivo capaz de registrar mapas térmicos de um objeto. Com a utilização de câmeras termográficas é possível detectar a radiação emitida pelos corpos, com alta sensibilidade, capaz de monitorar rigorosamente mínimas mudanças de temperatura da superfície observada.

O fato da radiação ser uma função da temperatura da superfície do objeto, torna possível para a câmera calcular e mostrar esta temperatura (KNIZKOVÁ et al., 2007). No entanto a radiação que será medida pela câmera, depende também da emissividade do objeto, das condições ambientais, umidade do ar e composição dos gases atmosféricos.

Além disso, outros fatores precisam ser considerados quando se realizam as fotografias em infravermelho, tais como: luz solar direta, vento entre outros (KNÍŽKOVÁ et al., 2007). Para estudos na agricultura e pecuária, a utilização de imagens em infravermelho pode servir para aprimorar e agilizar técnicas de melhoramento de plantas e animais, agricultura de precisão e tratar de forma pré-clínica sintomas de doenças em plantas e animais.

Os fabricantes das câmeras termográficas já fornecem dispositivos de medição atmosférica e filtros de correção, poupando o trabalho manual. A umidade e radiação térmica no ambiente devem ser considerados, sendo geralmente compensados com medições externas, ou já feitas na própria câmera de infravermelha (GRUNER, 2003).

Para medir a temperatura com precisão, é obrigatório compensar os efeitos de todas essas variáveis, fornecendo os dados para a câmera ou *software*, como a emissividade, umidade relativa e distância entre o objeto e câmera.

O uso da termografia para avaliar a estabilidade de silagens é um assunto novo e ainda pouco estudado, principalmente no tocante à termografia em infravermelho.

2.8.1 Emissividade

Os *softwares* usados para processamento das termografias em infravermelho, podem corrigir as variações de emissividade do objeto ponto a ponto sobre a imagem inteira.

Materiais não metálicos como madeira, plástico, borracha, pedra ou concreto, que apresentam superfícies de baixa reflexão apresentam alta emissividade ($e = 0,80$ a $0,95$). E materiais orgânicos apresentam emissividade entre $0,95$ e $0,99$ (STABENTHEINER et al. 1987). Estes apresentam emissividade próxima de um corpo negro, semelhante a pele humana e outros mamíferos (STEKETEE, 1973; WATMOUGH et al., 1968).

Para silagens embora não haja estudos, têm-se trabalhado com emissividade de $0,95$, semelhante a recomendada para madeira (FLUKE, 2010).

2.8.2 Aplicações da técnica por imagens em infravermelho na agropecuária

O emprego dessa ferramenta é bastante ampla para avaliação de variáveis relacionadas à temperatura, ou que apresentam alteração da temperatura como variável indireta. Pode ser usada nos sistemas de produção animal e vegetal como alternativas aos métodos tradicionais, que possuem limitações em obtenção de dados, não possibilitando medidas com exatidão e/ou perfeição.

As reduções de custo do equipamento e facilidade de operação, possibilitaram a ampla utilização de imagens em infravermelho, na agricultura. Essa tecnologia pode ser utilizada em todos materiais e atividades agrícolas, onde o calor é gerado ou perdido no espaço e no tempo (HELLEBRAND et al., 2002).

Na agricultura, a termografia em infravermelho é utilizada para estudar a variabilidade espacial de condutância estomática (JONES, 1999; OMASA et al. 2003; PRYTZ et al. 2003; GUILIONI et al. (2008); ALCHANATIS et al. 2009), calendários de irrigação (GEBHARDT 1990; JONES 1999) para acompanhamento de ice-nucleação ou estresse térmico em plantas (WISNIEWSKI et al. 1997; YANG et al. 2003), para triagem de mutações pelo controle de alterações estomáticas (MERLOT et al. 2002; WANG et al. 2004) e para avaliação de patógenos em plantas pela monitorização dos padrões de temperatura da superfície foliar (CHAERLE et al., 1999).

2.8.2.1 Imagens em infravermelho na produção animal

A termografia digital em infravermelha (TIV) consiste de uma técnica de diagnóstico não invasiva, empregada para determinar a simetria e assimetria de temperatura na superfície a ser medida.

A temperatura da pele de mamíferos é aproximadamente 5 °C inferior que as regiões internas do corpo, sendo o calor muitas vezes, dissipado através da pele por evaporação e outros meios (ADAMS et al., 1980), alcançando o equilíbrio entre a temperatura interna e externa. Portanto, a imagem infravermelha, é a técnica mais eficiente e não invasiva para o estudo da distribuição de temperatura, com capacidade para medir locais anatômicos e identificar diferenças significativas entre imagens térmicas (MEDICAL MONITORING SYSTEMS, 1999).

Na pecuária, o infravermelho tem sido utilizado para identificar problemas dos aparelhos locomotores em bovinos e equinos (SCHMIDT et al., 2003). Em 2002, pesquisadores do “Zoológico de Frankfurt e Leipzig Zoological Gardens” usaram a termografia para detectar uma gestação tardia em girafa (HILSBERG et al., 2002, citado por BOWERS et al., 2009). No entanto, os autores afirmaram que existe necessidade de mais pesquisas para definir as melhores condições de trabalho, restrições e limitações do uso da termografia para a detecção de prenhez (HILSBERG et al., 2002, citado por BOWERS et al., 2009).

Pesquisa também foi realizada para detectar a prenhez em novilhas leiteiras, mas não resultou em discriminação entre animais prenhez e não prenhez (JONES et al., 2005). Resultados semelhantes foram obtidos por HELLEBRAND et al. 2003, citado por KNÍŽKOVÁ et al., 2007) que não conseguiu identificar a diferença de temperatura entre novilhas prenhas e não prenhas da raça holandesa. Segundo os autores, a não identificação de diferenças de temperatura deu-se em função da ótima capacidade isolante térmica da pele, independente se os animais estivessem no sol ou a sombra.

A utilização de TIV demonstrou-se efetiva na distinção de éguas prenhas das não prenhas, em animais com cinco semanas antes do parto (BOWERS et al., 2009). Os animais com útero gravídico apresentaram maiores temperaturas na região do abdomen, quando comparados a animais com úteros não gravídico, independente das condições ambientais, porém, a diferença ficou mais visível, quando a temperatura ambiente foi inferior a 19 °C. JONES et al. (2005) verificaram que o uso de TIV para avaliar o estado de prenhez em novilhas da raça holandesa, a diferença entre novilhas prenhas e não prenhas somente ocorreu quando a temperatura ambiente foi inferior a 10 °C.

No trabalho de BOWERS et al. (2009) o equipamento infravermelho utilizado para a captura das imagens foi ajustado para emissividade de 0,96 (corrigido para a umidade e temperatura ambiente). Éguas gestantes apresentaram médias de temperaturas superiores na região do abdomen em relação às éguas não gestantes e potras ($36,0 \pm 0,2$ °C vs, $34,2 \pm 0,2$ °C vs, $34,3 \pm 0,92$ °C, respectivamente).

Esses autores relatam que as diferenças de temperaturas encontradas entre os animais pode ser devido aos efeitos hormonais que se encontram alterados nessa condição fisiológica, a qual possui efeito sobre alterações no fluxo sanguíneo local, como também alterações no crescimento de tecidos, metabólitos, e a combinação das alterações hormonais com a atividade de síntese protéica, ou mesmo às várias associações com a gravidez relacionadas com a placenta e o crescimento do feto.

Vários estudos foram realizados em medicina veterinária SCHAEFER et al., (2004) utilizaram termografia em infravermelho como método para detecção precoce de animais infectados com o vírus da diarreia bovina (BVD). Da mesma forma, utilizou-se essa metodologia para estudos da síndrome respiratória bovina (BRD), usando varreduras faciais (SCHAEFER et al., 2007). Esses autores verificaram que

temperaturas em infravermelho foram eficientes de quatro a seis dias antes da presença de sinais clínicos de BRD em 80% dos valores predittivos positivos.

MONTANHOLI et al. (2008) verificaram correlações da produção de calor em diferentes regiões do corpo de vacas leiteiras: garupa, abdomen e pata, com 0,71; 0,72; e 0,88 respectivamente, à produção de metano. Determinando assim, que a termografia pode ser aplicada com sucesso para avaliar a produção de calor e de metano gerado em bovinos leiteiros da raça holandesa. MONTANHOLI et al. (2009) verificaram correlações elevadas e medianas para características de eficiência alimentar (consumo alimentar residual - CAR) com as medidas de temperatura de diferentes regiões do corpo em bovinos de corte. Estudo recente avaliando conforto térmico e perda de calor em frangos de corte foi realizado por NÄÄS et al. (2010), verificando elevada correlação entre as temperaturas das regiões do corpo do frango por TIV com a temperatura ambiente, mostrando que determinadas regiões do corpo do frango respondem a alterações no ambiente do alojamento.

Termografia em infravermelho foi indicado como método adequado de detecção de laminites em vacas leiteiras em lactação (NIKKHAH et al., 2005) e dor crônica após corte da cauda (EICHER et al., 2006). Ainda, a aplicação de TIV como método de triagem para identificar potenciais bovinos infectados pelo vírus da febre aftosa por assimetria de temperatura dos cascos (LOVETT et al., 2009) mostrou-se promissora para a identificação precoce dos animais infectados.

Pesquisas envolvendo estresse em animais de produção e características qualitativas de carne foram realizadas por SCHAEFER et al. (2001), avaliando o estresse *ante-mortem* e suas implicações econômicas à carne bovina, suína e de cordeiros. Os autores verificaram com o uso de TIV em bovinos, transportados por períodos de 1,5 horas, registrando imagens térmicas desses animais na região dorsal, no momento antes do transporte e após o transporte, temperaturas de 36,2 e 37,2 °C respectivamente, verificando-se tendência de algum grau de carne PSE ou DFD no momento do abate, como indicativo de estresse sofrido pelos animais. Da mesma forma, TONG et al. (1995) citado por SCHAEFER et al. (2001) verificaram que a tecnologia da termografia infravermelha pode ser usada para diagnóstico na identificação de animais vivos predispostos a alterações na qualidade da carne PSE em suínos e DFD em bovinos.

Em ampla revisão, STEWART (2008) verificou que TIV têm sido usadas com sucesso para avaliar a inflamação decorrente da marcação de gado por ferro quente

e da temperatura da superfície escrotal, como indicador de fertilidade em touros, e de atividades de descorna em bezerros. Na pecuária leiteira, a termografia em infravermelho tem sido usada para a detecção precoce de estro, mastite e claudicação. A verificação de mastite por varredura da glândula mamária permite identificar o processo inflamatório muito antes de surgirem os primeiros sinais clínicos.

A capacidade da TIV em detectar e medir as respostas dos animais ao estresse, tem sido o foco das investigações. Relações entre imagem em infravermelho e a atividade do eixo hipotálamo-pituitaria-adrenocortical (HPA) foram inicialmente investigadas por COOK et al. (2001), que utilizaram imagens térmicas e cortisol para medir a atividade adrenocortical e metabólica em cavalos. Amostras de sangue, saliva e imagens do olho em infravermelho foram coletadas em intervalos definidos antes e depois de um desafio com o hormônio adrenocorticotrófico (ACTH). E os resultados mostraram uma correlação significativa entre a temperatura máxima do olho com o cortisol plasmático e salivar, sugerindo que mudanças na temperatura do olho podem ser associadas com a ativação do eixo HPA.

A termografia tem sido utilizada como ferramenta para identificar além de sinais pré-clínicos e clínicos, os processos inflamatórios e artrite. Os resultados destes estudos de SANCHES et al. (2008) demonstram que a tecnologia de imagem em infravermelho representa uma resposta rápida, sendo um método altamente reproduzível para quantificar o grau de inflamação em modelos de ratos com inflamação geral e artrite reumatóide.

A partir do exposto nesse capítulo, entende-se que a avaliação da aplicação de aditivos na ensilagem do milho é um assunto que merece ser melhor explorado, em função das divergências de resultados na literatura consultada, sobretudo em relação ao efeito das bactérias heteroláticas sobre a estabilidade aeróbia das silagens. Nesse segmento, o uso de termografia em infravermelho apresenta-se como uma nova tecnologia passível de aplicação prática na avaliação de silagens em aerobiose.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, T.; HEISEY, S.R.; SMITH, M.C.; et al. Thermodynamic techniques for the quantification of regional blood flow. **American Journal of Physiology** v.238, p. 682–96, 1980.
- ALCHANATIS, V.Y.; COHEN, Y. S.; COHEN, S. et al. Evaluation of different approaches for estimating and mapping crop water status in cotton with thermal imaging. **Precision Agriculture**, 2009.
- ALLI, L.; BAKER, B.E. Effects of additives on latic acid production and water soluble carbohydrates in chopped corn and alfalfa. **Journal of Dairy Science**, v.65, n.5, (Abst), p.1472-1478, 1982.
- AMARAL, R.C.; BERNARDES, T.F. **Existe necessidade de inoculantes para silagem de milho?**. 2010. Disponível em: <http://www.beefpoint.com.br/?noticialD=60855&actA=7&arealD=60&secaoID=160> Acessado em: 10/10/2010.
- ANDRADE, S.T.J. **Avaliação de inoculantes biológicos na ensilagem de milho, sorgo, capim elefante e alfafa**. Botucatu, 2000. 114 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia - UNESP.
- ASHBELL, G.; WEINBERG, Z.G.; AZRIELI, A. et al. A simple system to study the aerobic deterioration of silages. **Canadian Agricultural Engineering** v.33, p.171-175, 1991.
- BALSALOBRE, M.A.A.; NUSSIO, L.G.; MARTHA JR.; G.B. Controle de perdas na produção de silagens de gramíneas tropicais. In: MATTOS, W.R.S. (Ed.) **A produção animal na visão dos brasileiros**. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2001. p.927.
- BARCOCK, I.; RUSSELL, F.D. Fodder production and nutritive value of six shrubs on acid soil in southern ethiopia. **Tropical Agriculture**, v.70, n.1, p.13-15, 1991.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; BERGONCI, J.I. et al. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.9, p.831-839, set. 2004.
- BERNARDES, T.F. **Controle da deterioração aeróbia de silagens**. 2006. 103p. Tese (Doutorado em Zootecnia). Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2006.
- BOLSEN, K.K. **Managing bunker, trench, and drive-over pile silages for optimum nutritive value: five important practices**. 2003. Disponível em: <http://www.wdmc.org/2003/Managing%20Bunker,%20Trench,%20and%20Drive-over%20Pile%20Silages%20for%20Opt.pdf> Acessado em: 13/10/2010.
- BOWERS, S.; GANDY, B.; ANDERSON, P. et al. Assessment of pregnancy in the late-gestation mare using digital infrared thermography. **Theriogenology**, v.72, p.372–377, 2009.
- CHAERLE, L.; CAENEGHEM, W.V.; MESSENS, E.; et al. Presymptomatic visualization of plant–virus interactions by thermography. **Nature Biotechnology**, v.17, p.813–816, 1999.
- CLARK, J.; HOLMES, B.; MUCK, R. **Feedout losses from forage storage systems**. v.4, n.7, p.1-3, 2008. Disponível em <http://www.uwex.edu/ces/crops/>

uwforage/FeedoutLossFOF.PDF> Acessado em: 13/10/2010.

CLEALE, R.M.; FIAKINS, J.L.; VAN DER BEEK, F. et al. Effect of inoculation of whole plant corn forage with *Pediococcus acidilactici* and *Lactobacillus xylosus* on preservation of silage and heifer growth. **Journal Dairy Science**, v.73: p.711-718, 1990.

COOK, N.J.; SCHAEFER, A.L.; WARREN, L. et al. Adrenocortical and metabolic responses to ACTH injection in horses: an assessment by salivary cortisol and infrared thermography of the eye. **Canadian Journal of Animal Science**, v.81, p. 621 (Abst), 2001.

DANNER, H.; HOLZER, M.; MAYRHUBER, E. et al. Acetic acid increases stability of silage under aerobic conditions. **Applied and Environmental Microbiology**, v.69, n.1, p.562-567, 2003.

DEMINICIS, B.B.; VIEIRA, H.D.; JARDIM, L.G. et al. Silagem de milho: características agrônômicas e considerações. **Revista Eletrônica de Veterinária**, v.10, n.2, 2009.

DRIEHUIS, F.; ELFERINK, S. J. W. H. O.; SPOELSTRA, S. F. Anaerobic lactic acid degradation during ensilage of whole crop maize inoculated with *Lactobacillus buchneri* inhibits yeast growth and improves aerobic stability. **Journal of Applied Microbiology**, v.87, p.583-594, 1999.

EICHER, S.D.; CHENG, H.W.; SORRELLS, A.D. et al. Behavioral and physiological indicators of sensitivity or chronic pain following tail docking. Short communication: **Journal of Dairy Science**, v.89, p.3047-3051, 2006.

FARIA, V.P. Técnicas para produção de silagem. In: **A raça jersey**. 1993, p.47-52.

FERLON, D.R.; HENDERSON, A.R.; ROOKE, J.A. The fermentative preservation of grasses and forage crops. **Journal of Applied Bacteriology**, Suppl., v.79, n.24, p.118-131, 1995.

FERREIRA, J.J. Estágio de maturação ideal para ensilagem do milho e do sorgo. In: CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A.; RODRIGUES, J.A.S. et al. (Ed.) **Produção e utilização de silagem de milho e sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2001. p.405-428.

FLUKE. **Fluke Ti25 Infrared thermal imaging camera specifications**. Disponível em: <http://www.fluke-ti25.com/Ti-25-Specifications_ep_40.html> Acessado em: 05/12/2010.

FILYA, I. The effect of *Lactobacillus buchneri* and *Lactobacillus plantarum* on the fermentation, aerobic stability, and ruminal degradability of low dry matter corn and sorghum silages. **Journal Dairy Science**, v.86, p.3575-3581, 2003.

FILYA, I.; SUCU, E.; KARABULUT, A. The effect of *Propionibacterium acidipropionici*, with or without *Lactobacillus plantarum*, on the fermentation and aerobic stability of wheat, sorghum and maize silages. **Journal Applied Microbiology**, v.97, p.818-821, 2004.

GEBHARDT, A. Differenzierte einschätzung des wasserversorgungszustandes landwirtschaftlicher kulturen mittels thermografischer luftaufnahmen. **Archiv Acker-Pflanzenbau Bodenkd**, v.34, p.741-748, 1990.

GONZÁLES, D.A.; MADRUGA, F.J.; QUINTELA, M.A. et al. Defect assessment on radiant heaters using infrared thermography. **NDT&E International**, v.38, p.428-432, 2005.

GRUNER, K. **Principles of non-contact temperature measurement**. 2003. Disponível em: <http://support.fluke.com/raytek-sales/download/asset/ir_theory_55514_eng_revb_lr.pdf> Acessado em: 27/10/2010.

GUILIONI, L.; JONES, H. G; LEINONEN, I. et al. On the relationships between stomatal resistance and leaf temperatures in thermography. Short communication: **Agricultural and forest meteorology**, p.148, 2008.

HALLADA, C. **Why new corn silage doesn't feed as well**. Novembro. 2009. Disponível em: <http://www.qualitysilage.com/PDF/C-Hallada-Why-new-corn-silage-Hoards-111009.pdf>. Acessado em: 30/11/2010.

HARRISON, J.H.; SODERLUND, S.D.; LONEY, K.A et al. Effect of inoculation rate of selected strains of lactic acid bacteria on fermentation and in vitro digestibility of grass-legume forage. **Journal Dairy Science**, Savoy, v.72, n.9, p.2421-2426, 1989.

HELLEBRAND, H.J.; BEUCHE, H.; LINKE, M. Thermal imaging: a promising high-tec method in agriculture and horticulture. In BLAHOVEC, J. KUTILEK, M. (Ed) **Physical methods in agriculture: approach to precision and quality**. 2002, p.411-427.

HIGGINBOTHAM, G.E.; MUELLER, S.C.; BOLSEN, K.K. et al. Effects of inoculants containing propionic acid bacteria on fermentation and aerobic stability of corn silage. **Journal of Dairy Science**, v.81, p.2185-2192, 1998.

HU, W.; SCHMIDT, R. J.; McDONELL, E.E. et al. The effect of *Lactobacillus buchneri* 40788 or *Lactobacillus plantarum* MTD-1 on the fermentation and aerobic stability of corn silages ensiled at two dry matter contents. **Journal Dairy Science**, v.92 p.3907-3914, 2009.

HUNTER, R. B. Selection and evaluation procedures for whole plant corn silage. **Canadian Journal Plant of Science**, v.58, p.661-78, 1978.

IGARASI, M. S. **Controle de perdas na ensilagem de capim tanzânia (*panicum maximum jacq. cv. tanzânia*) sob os efeitos do teor de matéria seca, do tamanho de partícula, da estação do ano e da presença do inoculante bacteriano**. 2002. 64p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba

ÍTAVO, L.C.V.; SANTOS, G.T.; JOBIM, C.C. et al. Substituição da silagem de milho pela silagem do bagaço de laranja na alimentação de vacas leiteiras: consumo, produção e qualidade do leite. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.5, p.1498-1503, 2000.

JOBIM, C.C.; NUSSIO, L.G.; REIS, R.A. et al. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, Supl. esp., p.101-120, 2007.

JONES, D.I.H.; JONES, R. The effect of crop characteristics and ensiling methodology on grass silage effluent production. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.60, n.2, p.73-81, 1995.

JONES, H. G. Use of thermography for quantitative studies of spatial and temporal variation of stomatal conductance over leaf surfaces. **Plant, Cell and Environment**, v.22, p.1043–1055, 1999.

JONES, H. G. Use of infrared thermography for estimation of stomatal conductance in irrigation scheduling. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.95, p.135–149, 1999.

JONES, M.; DENSON, A.; WILLIAMS, E. et al. Assessing pregnancy status using digital infrared thermal imaging in Holstein dairy heifers. **Journal Animal Science**, v.83, Suppl., n.40, 2005.

KASTBERGER, G.; STACHL, R. Infrared imaging technology and biological applications. **Behavior Research Methods, Instruments, & Computers**. v.35, n.3, p.429-439, 2003.

KLEINSCHMIT, D. H.; KUNG Jr, L. A meta-analysis of the effects of *Lactobacillus buchneri* on the fermentation and aerobic stability of corn, grass and small grain silages. **Journal Dairy Science**. v.89 p.4005–4013, 2006.

KNÍŽKOVÁ, I. et al. Applications of infrared thermography in animal production. **Journal of Faculty of Agriculture**, v.22, n.3, p.329-336, 2007.

KUNG, Jr., L.; CHEN, J. H.; KRECK E. M. et al. Effect of microbial of corn silage for inoculants on the nutritive value lactating dairy cows. **Journal Dairy Science**, v.76, p.3763-3770. 1993.

KUNG Jr., L. Effects of microbial additives in silages: facts and perspectives. In: ZOPOLLATTO, M.; MURARO, G.B.; NUSSIO, L.G. (Ed.). **International symposium on forage quality and conservation**, v.1., São Pedro, 2009. Proceedings... Piracicaba: FEALQ, 2009. p.7-22.

KUNG Jr., L.; RANJIT, N.K. The effect of *Lactobacillus buchneri* and other additives on the fermentation and aerobic stability of barley silage. **Journal of Dairy Science**, v.84, n.5, p.1149-1155, 2001.

KUNG, Jr., L. et al. Microbial populations, fermentation end-products, and aerobic stability of corn silage treated with ammonia or a propionic acid-based preservative. **Journal of Dairy Science**, v.83, p.1479-1486, 2000.

LOVETT, K.R.; PACHECO, J.M.; PACKER, C. et al. Detection of foot-and-mouth disease virus infected cattle using infrared thermography. **The Veterinary Journal**, p.317–324. 2009.

LUTHER, R.M. et al. Effect of microbial inoculation of whole-plant corn silage on chemical characteristics, preservation and utilization by steers. **Journal Animal Science**, v.63 p.1329-1336, 1986.

MAGALHÃES, P.C.; DURAES, F.O.M.; CARNEIRO, N.P. et al. **Fisiologia do milho**. Embrapa milho e Sorgo. Minas Gerais, MG, Circular Técnico, n.22, p.65, 2002.

MARI, L.J.; SCHMIDT, R.J.; NUSSIO, L.G. et al. An evaluation of the effectiveness of *Lactobacillus buchneri* 40788 to alter fermentation and improve the aerobic stability of corn silage in farm silos: Short communication. **Journal Dairy Science**, v.92, p.1174–1176, 2009.

MEDICAL MONITORING SYSTEMS, Pty Ltd. Operating Instructions for the vet 2000 and Manual of Equine Thermography. **Meditherm**, 1999.

McDONALD, P.; HENDERSON, A.R.; HERON, S.J.E. **The biochemistry of silage**, 2.ed. Merlow: Chalcomb Publications, 1991. 340p.

MERLOT, S.; MUSTILLI, A.C.; GENTY, B. et al. Use of infrared thermal imaging to isolate *Arabidopsis* mutants defective in stomatal regulation. **The Plant Journal**, v.30, p.601–609, 2002.

MERRY, R.J.; MACKENNA, C.; JONES, R. Biological silage additives. **Ciencia e Investigación Agraria**, v.20, n.2, p.372-401, 1993.

MOON, N.J. Inhibition of the growth of acid tolerant yeasts by acetate, lactate and propionate and their synergistic mixtures. **Journal of Applied Bacteriology**, v.55, p.453-460, 1983.

MONTANHOLI, Y.R.; ODONGO, N.E. et al. Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle *Bos taurus*. **Journal of Thermal Biology**, v.33, p.468-475, 2008.

MONTANHOLI, Y.R.; SWANSON, K.C.; SCHENKEL, F.S. et al. On the determination of residual feed intake and associations of infrared thermography with efficiency and ultrasound traits in beef bulls. **Livestock Science**, v.125, p.22-30, 2009.

MUCK, R.E.; BOLSEN, K.K. Silage preservation and silage additive products. In BOLSEN, K.K. et al. (Ed.) **Hay and silage management in north america**. Nfia, 1991, p.105-126.

MUCK, R. E. Inoculant of silage and its effects on silage quality. In: INFORMATIONAL CONFERENCE WITH DAIRY AND FORAGE INDUSTRIES. **Proceedings...US Dairy forage Research**. Madison. USA. 1996, p.43-53.

MUCK, R.E. The role of silage additives in making high quality silage. In: Silage production from seed to animal, v.67, 1993, New York. **Proceedings...** New York: NRAES, 1993. p.106-116.

NÄÄS, I.A.; ROMANINI, C.E.B.; NEVES, D.P. et al. Broiler surface temperature distribution of 42 day old chickens. **Scientia Agricola**, Piracicaba Brazil, v.67, n.5, p.497-502, sep-oct. 2010.

NEUMANN, M.; MÜHLBACH, P.R.F.; NÖRNBERG, J.L. et al. Características da fermentação da silagem obtida em diferentes tipos de silos sob efeito do tamanho de partícula e da altura de colheita das plantas de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.3, p.847-854, mai-jun, 2007.

NIKKHAH, A.; PLAIZIER, J. C.; EINARSON, M. S. et al. Infrared thermography and visual examination of hooves of dairy cows in two stages of lactation. Short communication: **Journal of Dairy Science**, v.88, p.2749–2753. 2005.

NSEREKO, V.L.; SMILEY, B.K.; RUTHERFORD, W.M. et al. Influence of inoculating forage with lactic acid bacterial strains that produce ferulate esterase on ensilage and ruminal degradation of fiber. **Animal Feed Science and Technology**, v.145, p.122-135, 2008.

OLIVEIRA, L.B.; PIRES, A.J.V.; CARVALHO, G.G.P. et al. Perdas e valor nutritivo de silagens de milho, sorgo-sudão, sorgo forrageiro e girassol. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.1, p.61-67, 2010.

OLIVEIRA, J. S.; SOBRINHO, F. S.; REIS, F. A. et al. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho destinados à silagem em bacias leiteiras do estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.1, p.45-50, 2007.

OMASA, K.; TAKAYAMA, K. Simultaneous measurement of stomatal conductance, non-photochemical quenching, and photochemical yield of photosystem II in intact leaves by thermal and chlorophyll fluorescence imaging. **Plant and Cell Physiology**, v.44, p.1290–1300, 2003.

OUDE ELFERINK, S.J.W.H.; DRIEHIUS, F.; GOTTSCHAL, J.C. et al. **Silage fermentation processes and their manipulation**. Silage making in the tropics with particular emphasis on smallholders. FAO, Rome, L. Mannelje (Ed.), p.17-30, 2000.

PEREIRA, J.R.A. **Silagem de planta inteira de milho Bt**. 2009. Disponível em: <<http://www.pioneersementes.com.br/ArtigosDetalhe.aspx?Id=131>> Acessado em: 18/09/ 2010.

PEREIRA, L.G.R.; GONÇALVES, L.C.; TOMICH, T.R. Silos experimentais para avaliação da silagem de três genótipos de girassol (*Helianthus annuus* L.). **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.57, n.5, p.690-696, 2005.

PAHLOW, G. Role of microflora in forage conservation. In PAHLOW, G.; HONIG, H. (Ed.) **Forage conservation towards 2000**. v.1. Braunschweig: European Grassland Federayion, 1991, p.26-36.

PRYTZ, G.; FUTSAETHER, C. M.; JOHNSON, A.; Thermography studies of the spatial and temporal variability in stomatal conductance of *Avena* leaves during stable and oscillatory transpiration. **New Phytologis**, v.158 p.249–258, 2003.

RANJIT, N.K.; TAYLOR, C.C.; KUNG, Jr. Effect of *Lactobacillus buchneri* 40788 on the fermentation, aerobic stability and nutritive value of maize silage. **Grass and Forage Science**, v.57, p.73-81, 2002.

RODRIGUES, P.H.M.; PEDROSO, S.B.G.; MELOTTI, L. et al. Estudo comparativo de diferentes tipos de silos sobre a composição bromatológica e perfil fermentativo da silagem de milho. **Acta Scientiarum**, v.24, n.4, p.1127-1132, 2002a.

RODRIGUES, P.H.M.; PEDROSO, S.B.G.; MELOTTI, et al. Composição bromatológica e perfil fermentativo da silagem de Capim-Elefante obtida em diferentes tipos de silos experimentais e no silo tipo trincheira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.6, p.2386-2392, 2002b.

RODRIGUES, P.H.M.; RUZANTE, J.M.; SENATORE, A.L. et al. Avaliação do uso de inoculantes microbianos sobre a qualidade fermentativa e nutricional da silagem de milho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.3, p.538-545, 2004.

ROLIM, F. A. Estacionalidade de produção de forrageiras. In: PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P. (Ed.). **Pastagens: fundamentos da exploração racional**. Piracicaba: FEALQ, 1994, p.533-566.

ROTZ, C.A.; MUCK, R.E. Changes in forage quality during harvest and storage. In: FAHEY, G.C. et al. (Ed.). **Forage quality, evaluation, and utilization**. Madison: University of Nebraska, 1994, p.828-868.

SANCHEZ, B.M.; LESCH, M.; BRAMMER, D. et al. Use of a portable thermal imaging unit as a rapid, quantitative method of evaluating inflammation and experimental arthritis. **Journal of Pharmacological and Toxicological Methods**, v.57, p.169–175, 2008.

SANDERSON, M.A. Aerobic stability and *in vitro* digestibility of microbially inoculated corn and sorghum silages. **Journal of Animal Science**, v.71, n.2, p.505-514, 1993.

SCHAEFER, A.L.; COOK, N.; TESSARO, S.V. et al. Early detection and prediction of infection using infrared thermography. **Canadian Journal of Animal Science**, v.84, p.73–80, 2004.

SCHAEFER, A.L.; COOK, N.J.; CHURCH, J.S.; et al. The use of infrared thermography as an early indicator of bovine respiratory disease complex in calves. **Research in Veterinary Science**, v.83, p.376–384, 2007.

SCHAEFER, A. L.; DUBESKI, J. P. L.; ALHUS, A. et al. Role of nutrition in reducing antemortem stress and meat quality aberrations. **Journal Animal Science**, v.79 Suppl., 2001.

SCHMIDT, S.; BOWERS, S.; GRAVES, K.; et al. Use of infrared thermography to assess thermal temperature gradients and pathologies of the bovine claw. **Journal Animal Science**, v.81, Suppl 1., p.323-2003.

SHAYER, R.D. Colheita e armazenamento de milho para a produção de silagem de alta qualidade para vacas leiteiras. In: Novos enfoques na produção e reprodução de bovinos, v.4, 2000, Passos. **Anais... Passos: 2000**. p.63-66.

STABENTHINER, A. et al. Thermographic determination of body temperatures in honey bees and hornets: calibration and applications. **Thermology**, v.2, p.563-572, 1987.

STEWART, M. Non-invasive measurement of stress and pain in cattle using infrared thermography. Tese. **Animal Science**. Massey University, Palmerston North, New Zealand, 2008.

STEKETEE, J. Spectral emissivity of skin and pericardium. **Physiological & Medical Biology**, v.18, p.686-694, 1973.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Tradução Eliane Romanato Santarém et al. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TOMICH, T.R.; TOMICH, R.G.P.; GONÇALVES, L.C. et al. Valor nutricional de híbridos de sorgo com capim-Sudão em comparação ao de outros volumosos utilizados no período de baixa disponibilidade das pastagens. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.58, n.6, p.1249-1252, 2006.

VILELA, D. Aditivos para silagens de plantas de clima tropical. In: Simpósio sobre o uso de aditivos na produção de ruminantes e não ruminantes, 1998, Botucatu. **Anais ... Botucatu: SBZ**, 1998. p.73-108.

ZOPOLLATTO, M.; DANIEL, J.L.P.; NUSSIO, L.G. Aditivos microbiológicos em silagens no Brasil: revisão dos aspectos da ensilagem e do desempenho de animais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, Sup. esp., p.170-189, 2009.

WANG, Y.; HOLROYD, G.; HETHERINGTON, A. M. et al. Seeing 'cool' and 'hot'—infrared thermography as a tool for non-invasive, high-throughput screening of arabidopsis guard cell signaling mutants. **Journal of Experimental Botany**, v.55, p.1187–1193, 2004.

WATMOUGH, D. J.; OLIVER, R. Emissivity of human skin in vivo between 2.0μ and 5.4 μ measured at normal incidence. **Nature**, v.218, p.885-886, 1968.

WISNIEWSKI, M.; LINDOW, S.E.; ASHWORTH, E.N. Observations of ice nucleation and propagation in plants using infrared video thermography. **Plant Physiology**, v.113, p.327–334, 1997.

WOOLFORD, M.K. **The silage fermentation**. New York: Marcel Dekker, 1990. 350p.

YANG, S.Y.; HAYASHI, T.; HOSOKAWA, M. et al. Leaf temperature drop measured by thermography and occurrence of leaf browning injury in Saintpaulia. **Environment Control in Biology**, v.41, p.265–270, 2003.

ADITIVO CONTENDO BACTÉRIAS HOMO E HETEROLÁTICAS E PARÂMETROS FERMENTATIVOS, PERDAS E ESTABILIDADE AERÓBIA DE SILAGENS DE MILHO

RESUMO

O presente ensaio experimental avaliou a inoculação de um aditivo composto por *Lactobacillus plantarum*, *L. brevis* e *Enterococcus faecium*, em relação à silagem sem aditivo (Controle). As silagens foram confeccionadas em silos experimentais e armazenadas por 30, 60, 90 ou 120 dias antes da abertura dos silos. Foram avaliadas a composição bromatológica da silagem de milho antes e após a ensilagem, as perdas fermentativas, os compostos orgânicos voláteis e a estabilidade aeróbia da forragem. O aditivo avaliado reduziu ($P < 0,05$) a produção de efluente (11,4 kg/t) em relação à silagem Controle (14,0 kg/t), contudo o aditivo elevou ($P < 0,05$) os teores de Fibra em Detergente Neutro (FDN) e Fibra em Detergente Ácido (FDA), de 45,6 e 24,5% para 47,0 e 25,1%, para as silagens controle e com aditivo, respectivamente. Os tempos de armazenamento influenciaram ($P < 0,05$) as variáveis efluente, perda total de matéria seca (PTMS), FDN, FDA e pH. Os compostos orgânicos não apresentaram diferença entre tratamentos ($P > 0,05$), com exceção do etanol que apresentou menor produção para a silagem com aditivo. Verificou-se elevação dos teores de etanol e ácido propiônico em função dos maiores tempos de armazenamento. As variáveis mensuradas de estabilidade aeróbia não foram influenciadas pelos tratamentos ($P > 0,05$). Verificou-se efeitos significativos de tempos de armazenamento sobre as variáveis de estabilidade aeróbia, porém a explicação biológica desses efeitos não pôde ser correlacionada às variáveis avaliadas no presente estudo. As perdas fermentativas observadas foram bastante reduzidas, dadas as adequadas características da cultura do milho para a ensilagem.

Palavras-chaves: dióxido de carbono, efluente, gases, *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus plantarum*, perdas de matéria seca

HOMO AND HETEROLATIC ADDITIVE AND FERMENTATION, LOSSES AND AEROBIC STABILITY OF CORN SILAGES

ABSTRACT

This trial evaluated the addition of *Lactobacillus plantarum*, *L. brevis* and *Enterococcus faecium* combo additive against a control treatment. The silages were made in experimental silos that were stored for 30, 60, 90 and 120 days before opening. The chemical composition of forage before and after the ensilage, the fermentative losses, organic compounds and the aerobic stability of silages were evaluated. The additive decreased ($P<0.05$) the effluent production (11.4 kg t^{-1}) compared to the control silage (14.0 kg t^{-1}), but the additive increased ($P<0.05$) the Neutral Detergent Fiber (NDF) and Acid Detergent Fiber (ADF) from 45.6 and 24.5% to 47.0 and 25.1% for control and additive silage, respectively. The storage periods affected ($P<0.05$) the effluent production, total dry matter losses (TDML), NDF, ADF and pH variables. The organic compounds were similar between treatments ($P>0.05$), ethanol that showed lower content for silage with the additive. It was found an increase for ethanol and propionic acid content with increasing storage period. The aerobic stability variables were not affected ($P>0.05$) by the treatments. The storage periods showed significative effects over the aerobic stability, but no biological explanation of these effects can be related to the evaluated variables in this trial. The fermentative losses were very low because of the adequate characteristics of maize for ensiling.

Key words: carbon dioxide, effluent, gases, *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus plantarum*, dry matter losses

3 INTRODUÇÃO

Conforme descrito na Bíblia em Gêneses, capítulo 13, versículo 5:12, relata-se que não havia pasto suficiente para Ló e Abrão criarem seus enormes rebanhos de ovelhas, cabras e gado, o que demonstra que a alimentação dos animais e o manejo da forragem já era prioridade desde aquela época.

A mais antiga descrição de produção de silagem data de 1842, é de autoria de Grieswald e foi publicada no "Transactions of the Baltic Association for the Advancement of Agriculture" (McDONALD et al., 1991). Desde então, as transformações bioquímicas que as forragens sofrem do momento da colheita até a obtenção do produto final são alvos de pesquisadores no mundo inteiro.

De todas as forrageiras utilizadas para a alimentação animal, o milho (*Zea mays* L.) é a espécie mais empregada para produção de silagem de alta qualidade. A silagem de milho destaca-se mundialmente como um dos volumosos mais utilizados em confinamentos e semi-confinamentos, em virtude de seu elevado teor de energia por quilograma de matéria seca e rendimento em produtividade por área.

Embora o uso de silagem de milho na alimentação de ruminantes seja comum, ainda são verificadas elevadas perdas na conservação dessa forrageira. Perdas que têm início no momento da escolha correta do híbrido, passando pelo plantio, condução da cultura, corte para ensilagem e, principalmente, perdas fermentativas e após a abertura do silo, caracterizado como estabilidade aeróbia da silagem.

Durante o tempo de fermentação da forragem a mesma passa por uma série de processos que acarretam perdas de nutrientes, nas mais diversas magnitudes. Conforme OUDE ELFERINK et al. (2000) essas perdas ocorrem ao longo do período de ensilagem na forma de efluente e gases, sendo a presença destes no silo indesejável, devendo ser evitadas para não proporcionar prejuízos à qualidade e custo do produto final.

As perdas decorrentes de problemas de má conservação da silagem, como a produção de efluentes e produção de gases podem chegar a 40% da massa ensilada (McDONALD et al., 1991). Assim, na busca constante por formas de minimizar essas perdas, tem-se pesquisado o uso de aditivos microbianos. A inoculação com microrganismos homoláticos (*Streptococcus* sp., *Lactobacillus* sp., *Leuconostoc* sp., *Pediococcus* sp.) eleva a produção de ácido lático durante a

fermentação, reduzindo o pH e controlando a proliferação de bactérias indesejáveis (McDONALD et al., 1991).

Na fase após a abertura do silo, ocorre o crescimento dos principais microrganismos aeróbios deterioradores de silagens, principalmente leveduras. Nessa fase os carboidratos solúveis residuais e ácidos orgânicos da silagem são metabolizados a CO₂ e água, com consequente produção de calor. O aumento de temperatura na silagem exposta ao ar é o indicativo usado para avaliar degradação do material. Diversos autores (KUNG Jr., 2000; O'KIELY et al., 2001; BORREANI et al., 2008) correlacionaram a degradação aeróbia de silagens à elevação na temperatura desse alimento, decorrente da liberação de calor pela atividade respiratória microbiana como também pela fermentação (metabolismo) da massa microbiana.

DANNER et al. (2003) afirmam que o ácido acético é um bom inibidor do crescimento de leveduras, sendo que a utilização de aditivos com bactérias heteroláticas, que produzem ácido acético e/ou propiônico, pode ser uma alternativa para elevar a estabilidade de silagens em aerobiose. Contudo, KUNG. Jr. et al. (2009) revisaram a literatura disponível e verificaram que apenas 33% dos casos, as bactérias ácido lácticas beneficiaram a estabilidade das silagens em geral, com efeito contrário em muitos casos.

O presente ensaio teve como objetivo avaliar as perdas fermentativas, composição químico-bromatológica e estabilidade aeróbia de silagem de milho inoculada com aditivo contendo bactérias homo e heteroláticas, armazenada em diferentes tempos de armazenamento.

3.1 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Local do experimento

As silagens foram confeccionadas em propriedade rural no município de Castro/PR, localizado na latitude 24° 47' S longitude 050° 00 W e altitude de 1008,8 m, conforme dados do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (2010), no dia 09 de maio de 2009. Os dados foram coletados e avaliados na Universidade Federal do Paraná (UFPR) no período de maio a setembro/2009.

3.2.2 Caracterização climática da região e histórico da área

O clima da região de Castro/PR é classificado como mesotérmico fresco sem período de estiagem definido (Cfb), segundo classificação proposta por KÖPPEN (1948), obtida nas cartas climáticas do Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR (2010).

Na Tabela 1 estão apresentadas as variáveis meteorológicas referentes ao período de condução da cultura do milho para ensilagem.

Tabela 1. Dados meteorológicos observados nos períodos de janeiro a maio de 2009, referente aos meses de desenvolvimento da lavoura de milho para ensilagem no município de Castro/PR.

Variáveis	Meses (Ano 2009)				
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.
Num. dias com precip. pluvial mensal, mm	20,0	15,0	8,0	2,0	16,0
Precipitação total, mm	296,6	156,1	87,2	18,7	49,4
Pressão atmosférica média, mensal, hPa	902,8	903,1	903,3	905,7	905,7
Temperatura máxima média mensal, °C	25,5	27,4	28,0	26,0	22,6
Temperatura compen. média mensal, °C	19,9	21,3	20,9	18,1	15,3
Temperatura mínima média mensal, °C	16,4	17,7	16,6	13,6	11,0
Nebulosidade média, mensal, décimos	8,0	8,0	6,0	5,0	6,0
Umidade relativa do ar média, mensal, %	83,0	83,0	79,0	79,0	85,0

Fonte: INMET, 2010

A semeadura do milho, variedade DKB 330 foi realizada em 16 de janeiro de 2009, pelo sistema de plantio direto, com 45 cm de espaçamento entre linhas e 3,1 sementes por metro linear, com aproximadamente 68 mil plantas/ha. Foram aplicados 240 kg/ha de 12-27-06 (N-P-K) como adubação de plantio, mais uma adubação de cobertura de 246 kg/ha de 22-00-21.

3.2.3 Desenho experimental e tratamentos

Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado em um esquema fatorial 2x4, compondo oito tratamentos, com cinco repetições por tratamento, totalizando

40 unidades experimentais (silos experimentais). Os fatores testados foram (tratamentos):

- CONTROLE (sem uso de aditivo);
- ADITIVO (inoculação com as bactérias *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus brevis* e *Enterococcus faecium* – 1×10^5 unidades formadoras de colônia por grama de matéria verde (UFC/g MV), produto teste da empresa Biomin;
- quatro tempos de armazenamento (30, 60, 90 e 120 dias).

3.2.4 Ensilagem

As plantas foram colhidas no dia 9 de maio de 2009, quando os grãos atingiram o estágio farináceo-duro com idade cronológica de 111 dias após a semeadura.

A forragem foi colhida com ensiladeira automotriz e altura de corte de 30 cm, previamente regulada para tamanho de partícula de 15 mm, e transportada a um galpão coberto para a aplicação dos tratamentos e enchimento dos silos experimentais. O milho picado foi pesado e dividido em dois montes, em quantidade suficiente para completar os silos experimentais respectivos de cada tratamento. Em um dos montantes de forragem já picada, foi aplicado, com auxílio de borrifador manual, somente água (1L/t MV). No outro montante foi aplicado o aditivo comercial da empresa Biomin (1×10^5 UFC/g MV), diluído em água (1L/t MV) e homogeneizada à forragem.

Imediatamente foi realizada a compactação com os pés nos silos experimentais, buscando-se atingir massa específica de 600 Kg de matéria verde por metro cúbico (MV/m³).

3.2.5 Silos experimentais

As ensilagens foram realizadas em silos experimentais (baldes plásticos de 20 litros), com dimensões de 360 mm de altura e 290 mm de diâmetro, com capacidade para armazenar 15 kg de silagem, providos de tampas apropriadas para vedação adequada. Nas tampas adaptou-se uma mangueira de borracha com corte longitudinal de aproximadamente um centímetro, caracterizando-se válvula do tipo *Bunsen* para vazão dos gases produzidos durante a fermentação.

Na porção inferior de cada silo experimental foi colocado aproximadamente 2 kg de areia seca para coleta de efluentes, separada da silagem por uma tela plástica e tecido de algodão. Foi realizada a pesagem dos silos (balde + tampa + areia seca + tela e pano) antes do enchimento dos silos. Após cheios e vedados foram pesados novamente, para avaliação das perdas quantitativas por gases, perda por efluente e perda total de MS, pela diferença gravimétrica, conforme descrito por JOBIM et al. (2007).

Após a ensilagem as tampas dos baldes foram seladas com fitas adesivas e mantidos em local coberto em temperatura ambiente até a abertura aos 30, 60, 90 e 120 dias armazenamento.

3.2.6 Abertura dos silos experimentais

Transcorridos os respectivos períodos de armazenamento (30, 60, 90 e 120 dias) os silos foram abertos para início das avaliações de perdas fermentativas (gases, efluente, perda total de MS), coletas de amostras para análise da composição bromatológica (PB, FDN, FDA, EE, Cinza) e compostos orgânicos voláteis (ácido acético, ácido propiônico, ácido butírico, ácido lático e etanol).

3.2.6.1 Quantificação da produção de gases

A mensuração das perdas por gases foi realizada de acordo com a equação descrita em JOBIM et al. (2007), com base na pesagem dos silos experimentais no fechamento e na abertura, em relação à massa de forragem armazenada, descontando-se a tara do silo:

$$G = \frac{[(PCen - Pen) * MSen] - [(PCab - Pen) * MSab]}{[(PCen - Pen) * MSen]} \times 100$$

Onde:

G = Perdas por gases em % da MS;

PCen = Peso do silo cheio na ensilagem (kg);

Pen = Peso do conjunto (silo+tampa+areia seca+tela+pano) na ensilagem (kg);

MSen = Teor de MS da forragem na ensilagem (%);

PCab = Peso do silo cheio na abertura (kg);

MSab = Teor de MS da forragem na abertura (%).

3.2.6.2 Quantificação da produção de efluente

A produção de efluente (kg/t MV) foi calculada com uso estratégico de coletor (areia) no fundo dos silos. O uso de areia seca tem mostrado eficiência como absorvente do efluente, com cálculo da produção desse pela diferença de peso do conjunto silo + areia + tela + pano na abertura (após retirar-se a forragem do silo) e antes da ensilagem, em relação a quantidade de forragem fresca ensilada. A mensuração das perdas por efluente foi realizada de acordo com a equação descrita em JOBIM et al. (2007).

$$E = \frac{(Pab - Pen) \times 1000}{(MVfe)}$$

Onde:

E = Produção de efluente (kg/t de massa verde);

Pab = Peso do conjunto (silo+areia úmida+pano+tela) na abertura (kg);

Pen = Peso do conjunto (silo+areia seca+pano+tela) na ensilagem (kg);

MVfe = Massa verde de forragem ensilada(kg).

3.2.6.3 Quantificação da perda total de MS

As perdas totais de matéria seca foram calculadas pela diferença entre o peso bruto da matéria seca inicial e final dos silos, em relação à quantidade de forragem ensilada (MS). Deve ser descontado o peso do silo na ensilagem e na abertura, de acordo com equação descrita em JOBIM et al. (2007).

$$PMS = \frac{[(PCen - Pen) * MSen] - [(PCab - Pab) * MSab]}{[(PCen - Pen) * MSen]} \times 100$$

Onde:

PMS = Perda total de matéria seca (%);

PCen = Peso do balde cheio na ensilagem (Kg);

Pen = Peso do conjunto (balde+tampa+areia seca+pano+tela) na ensilagem (Kg);

MSen = Teor de matéria seca da forragem na ensilagem (% MS);

PCab = Peso do balde cheio na abertura (Kg);

Pen = Peso do conjunto (balde+tampa+areia úmida+pano+tela) na abertura (Kg);

MSab = Teor de matéria seca da forragem na abertura (% MS).

3.2.7 Amostragens

3.2.7.1 Coleta de amostras na ensilagem

Da forragem de planta de milho destinada ao enchimento dos silos experimentais foram coletadas duas amostras de cada tratamento para determinação da composição químico-bromatológica. As amostragens foram realizadas em distintos pontos dos montes de forragem. Amostras de 500 g foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa de ventilação forçada a 55 °C por 72 horas. A composição químico-bromatológica da forragem está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Composição bromatológica da planta de milho no momento da ensilagem

Variáveis ²	Tratamentos ¹		Média
	Controle	Aditivo	
Matéria Seca, %	30,8	30,6	30,7
Proteína Bruta, % da MS	7,4	7,9	7,7
FDN, % da MS	48,3	49,7	49,0
FDA, % da MS	24,4	24,8	24,6
EE, % da MS	2,0	2,2	2,1
Cinzas, % da MS	3,2	3,1	3,2

¹ CONTROLE – Silagem sem aditivo; ADITIVO – Silagem aditivada com *L. plantarum*, *L. brevis* e *E. faecium* (1×10^5 UFC/g MV).

² Fibra em detergente neutro (FDN); fibra em detergente ácido (FDA); extrato etéreo (EE).

Fonte: O autor.

3.2.7.2 Coletas de amostras nas aberturas dos silos experimentais

A silagem de todos os silos, em cada uma das quatro aberturas, foi amostrada para análise da composição químico-bromatológica.

Após a abertura dos silos experimentais, a camada inicial de silagem, aproximadamente 10 cm foi descartada, e o restante foi recolhido em sacos plásticos e homogeneizado. Na sequência, uma amostra de 350 g foi acondicionada em saco de papel para secagem em estufa de ventilação forçada a 55 °C por 72

horas. Outra alíquota, de 500 g foi acondicionada em saco plástico e armazenada em congelador a temperatura de -20 °C, para extração do suco prensado da silagem, para análise dos compostos orgânicos voláteis. Outra amostra de aproximadamente 100 g foi coletada para análise de pH. E por fim, uma alíquota de aproximadamente 50 g foi coletada para avaliação imediata de dióxido de carbono (CO₂).

3.2.8 Análises químico-bromatológica

As análises bromatológicas foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Paraná (DZ/UFPR). As amostras usadas para determinação da composição bromatológica foram mantidas em estufa de ventilação forçada, a 55° C por 72 horas, sendo posteriormente moídas em moinho tipo Willey em peneira com crivos de 1 mm. Foram determinadas as seguintes variáveis:

- cinzas em mufla a 550 °C por 3 horas;
- fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e fibra insolúvel em detergente ácido (FDA), de acordo com metodologia de VAN SOEST (1994) adaptado para o método sequencial usando equipamento ANKOM Fiber Analyser (ANKOM® Technology Corp.) de acordo com a técnica descrita por HOLDEN (1999);
- proteína bruta (PB) pelo método micro Kjeldahl, de acordo com SILVA et al. (2002);
- extrato etéreo (EE), com a extração feita no extrator Soxhlet, utilizando-se como solvente éter de petróleo, com tempo de extração de 6 horas, conforme SILVA et al. (2002);
- nutrientes digestíveis totais (NDT), foram estimados segundo proposta de Weiss, de acordo com NRC (2001) para gado leiteiro. Para a estimativa do NDT, foram utilizados os teores médios de 1,18 e 0,52 % de nitrogênio residual na fibra em detergente neutro (N-FDN) e nitrogênio residual em fibra detergente ácido (N-FDA) respectivamente, considerando 16% da PB conforme numeroso banco de dados NRC (2001). Os teores médios de lignina (LIG) utilizados para efeito de cálculo, foram estimados conforme os teores de FDA para tratamento controle e aditivo.

A determinação do pH foi realizado em extrato aquoso, utilizou-se 25 g de silagem adicionados a 225 mL de água deionizada, a qual permaneceu em solução por 1 minuto, sendo após, realizada leitura por meio de um potenciômetro modelo WTW 330i, conforme metodologia adaptada de KUNG Jr. et al. (1984).

Para a extração do suco prensado de silagem de milho foi utilizado prensa hidráulica e aparato apropriado. O suco foi pipetado e armazenado em tubos tipo Eppendorf de 5 mL, adicionando-se ácido fórmico (98-100% - marca Merck®) na proporção de 0,2 mL de ácido fórmico para 1 mL de suco de silagem como conservante, e mantidos em congelador a -20 °C. Essas amostras foram enviadas ao Laboratório de Bromatologia da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo (FZEA/USP), em Pirassununga/SP, para análise dos ácidos orgânicos (ácidos láctico, acético, propiônico e butírico) e etanol realizadas segundo metodologia descrita por PALMIQUIST et al. (1971) por cromatografia gasosa.

3.2.9 Avaliação da estabilidade aeróbia

A estabilidade aeróbia foi avaliada pelo controle de temperatura das silagens expostas ao ar de acordo com o método descrito por KUNG Jr. (2000). Amostras de 3,0 kg das silagens de cada unidade experimental foram colocadas em baldes plásticos sem tampa, e mantidos em sala climatizada a 25 ± 1 °C por 148 horas. As temperaturas foram mensuradas a cada 30 minutos com o uso de *data loggers* (modelo EL-USB-1 – Lascar Eletronics/U.K.) inseridos no centro geométrico da massa em cada balde. Amostras das silagens foram colhidas ao início e ao término do período de avaliação, para determinação do teor de MS em estufa de circulação forçada de ar a 55 °C por 72 horas.

As variáveis avaliadas foram: estabilidade aeróbia (EA), definida como o tempo em horas para elevação da temperatura em 2 °C em relação ao ambiente; temperatura máxima (TMax) alcançada pela massa, em °C; tempo, em horas (HTmax), para atingir a temperatura máxima; perda de matéria seca (PMS) de zero a 148 horas.

3.2.10 Avaliação da produção de dióxido de carbono (CO₂)

A produção de CO₂ foi medida durante 140 horas com as silagens de milho em contato com o oxigênio. Foram utilizadas amostras irmãs das usadas do ensaio de estabilidade aeróbia (item 3.2.9). Em intervalos de 60 minutos, foram realizadas as aferições da quantidade de CO₂ produzido em cada canal do equipamento com as silagens dos respectivos tratamentos controle e aditivo, num total de 140 horas de avaliação. O equipamento utilizado para as análises dos gás foi o Analisador de Gás em Infravermelho (IRGA), pertencente ao Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR.

O sistema do equipamento é composto de 18 canais, uma bomba de ar, duas garrafas de água de lavagem de gases ácidos, com um controlador de fluxo com uma válvula e agulha para cada canal, um medidor de fluxo de massa, um analisador de gás infravermelho e um computador para armazenamento de dados em planilhas Excel. Houve um canal vazio (em branco), para medir a concentração de CO₂ do ar.

Foram utilizados 30 g de silagem de milho de cada repetição com 29,7% de MS. Os resultados foram expressos em microlitros (µL) de CO₂ produzidos por grama de MS por hora. As variáveis estudadas foram: CO₂max - produção máxima de CO₂; HCO₂max - horas para atingir a produção máxima de CO₂; CO₂140 - produção acumulada de CO₂, após 140 horas.

Os dados analisados de CO₂ são referentes apenas ao tempo de armazenamento de 60 dias. Não foram avaliadas as silagens dos demais períodos por problemas no equipamento IRGA.

3.2.11 Análise Estatística

Os dados foram analisados estatisticamente pelo procedimento de análise de variância utilizando o procedimento GLM do programa de análise estatística SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, 1999) versão 8.01, para um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x4.

As médias foram comparadas pelo teste Tukey ao nível de significância de 5% de probabilidade.

Para os dados de produção de CO₂ foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de F. Foram estabelecidas correlações entre as variáveis utilizando o PROC CORR do SAS (1999).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.4.1 Composição bromatológica

A composição bromatológica da planta de milho no momento da ensilagem esteve condizente com os valores descritos na literatura. BORREANI et al. (2007) verificaram em silagens de milho inoculadas com microrganismos homo e heteroláticos teores de 34,0% MS, 6,3% PB, 41,2% FDN, 22,0% FDA, 2,0% EE e 4,0% de Cinzas.

Os teores de MS da forragem foram reduzidos de 30,7% na ensilagem para 29,7% na média dos dois tratamentos após os 120 dias de armazenamento (Tabela 3). O desaparecimento de uma unidade percentual de MS é decorrentes do processo fermentativo, pela respiração das células vegetais e metabolismo dos microrganismos anaeróbios durante a ensilagem. Esses microrganismos são responsáveis pelo consumo de açúcares no processo e produção de CO₂ e água do seu metabolismo.

Da mesma forma, os teores de FDN da forragem foram reduzidos de 49,0% na ensilagem para 46,3% na média dos dois tratamentos após os 120 dias de armazenamento. O desaparecimento de 3,4 unidades percentuais de FDN indica que parte da fibra foi solubilizada, provavelmente a fração hemicelulose. Esse efeito pode ser considerado positivo ao processo, por fornecer carboidratos solúveis aos microrganismos da silagem e elevar o consumo da silagem pelos animais. HALLADA (2009) verificou que com a elevação do tempo de armazenamento para silagens de milho, as medidas de digestibilidade da FDN foram aumentadas. Assim, os produtos da fermentação das silagens podem ter contribuído para essa provável solubilização da hemicelulose.

A composição químico-bromatológica das silagens estudadas está apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Composição químico-bromatológica e valores de pH das silagens de milho sem aditivos (Controle) ou inoculada com aditivo microbiano (Aditivo) – média dos tempos de abertura

Variáveis ³	Tratamentos ¹		Média	EPM ⁴	Efeitos ²	
	Controle	Aditivo			A	T x A
Matéria seca, %	29,8	29,6	29,7	0,09	*	**
Proteína bruta, % da MS	7,4	7,4	7,4	0,1	ns	Ns
FDN, % da MS	45,6 ^b	47,0 ^a	46,3	0,2	**	**
FDA, % da MS	24,5 ^b	25,1 ^a	24,8	0,1	**	**
EE, % da MS	2,6	2,5	2,5	0,0	ns	Ns
Cinzas, % da MS	3,0 ^b	3,4 ^a	3,2	0,0	ns	Ns
NDT, % da MS	68,9	67,0	67,9	0,2	ns	Ns
pH	3,7	3,7	3,7	0,0	**	**

¹ Médias seguidas por letras diferentes na linha são estatisticamente diferentes pelo teste Tukey (P<0,05).

² ns - não significativo; * (P<0,05); ** (P<0,01); armazenamento (A); tratamento (T); interação tratamento com armazenamento (Tx A).

³ Fibra em detergente neutro (FDN); fibra em detergente ácido (FDA); extrato etéreo (EE); nutrientes digestíveis totais (NDT).

⁴ Erro padrão da média.

Fonte: O autor.

PIMENTEL et al. (1998) verificaram teores de PB das silagens de milho inferiores aos do presente ensaio porém, as demais variáveis bromatológicas estudadas assemelham-se ao desse estudo. Essas diferenças verificadas nas análises de silagem de milho, demonstram a variação de manejo adotado para a confecção das silagens, as quais variam desde a escolha do híbrido até mínimos ajustes no momento da ensilagem, que serão refletidos na qualidade nutricional e perdas de MS da massa de forragem ensilada. Além do impacto da metodologia de análise, que pode apresentar variação entre laboratórios.

A inoculação da silagem alterou apenas os teores de componentes da fibra (FDN e FDA) e Cinzas, não exercendo efeito nas demais variáveis avaliadas. Os teores mais elevados desses componentes na silagem aditivada possivelmente estejam relacionados ao consumo de parte dos componentes solúveis no metabolismo das bactérias inoculadas, acarretando elevação dos componentes insolúveis. Contudo, não foi verificado efeito (P>0,05) da inoculação sobre o pH das silagens, o que indicaria maior produção de ácidos nesse material. Da mesma

forma, a perda de componentes solúveis no efluente (Tabela 5) pode explicar essas diferenças.

Os valores médios estimados de nutrientes digestíveis totais (NDT) foram de 67,9% no atual ensaio, não havendo diferença significativa, porém esse valor foi superior aos verificados por CAPPELE et al. (2001) na literatura brasileira, que encontraram teores de NDT para silagem de milho mínimos de 55,4 e máximo de 63,8%. RODRIGUES et al. (2002), não verificaram efeito entre os teores de NDT de 65,0 e 65,1% para silagens de milho controle e aditivada com bactérias homoláticas. VELHO et al (2007), verificaram 69,4% de NDT para silagens de milho, consideradas silagens de elevado padrão de qualidade. Os teores de NDT verificados no presente ensaio, confirmam a elevada qualidade das silagens produzidas.

WEINBERG et al. (2007) verificaram diferença estatística nas silagens de milho inoculadas com *Enterococcus faecium*, com pH igual a 3,8, comparada à silagem inoculada com uma combinação de *E. faecium* e *L. plantarum*, que apresentou valor médio de pH igual a 4,2, e à silagem controle, com pH 3,7. Esse efeito sugere que em aditivos combinados, a competição entre os microrganismos pode reduzir a produção de ácidos e a queda do pH. Porém, a adição de bactérias ácido homoláticas geralmente resulta em pH baixo da silagem, em função da elevada produção de ácido láctico (MUCK et al., 1997).

Avaliando 221 trabalhos científicos sobre aditivos microbianos em silagens de milho, MUCK et al. (1997) verificaram que a inoculação promoveu efeitos positivos sobre o pH em cerca de 60% dos estudos. Esses autores verificaram que em menos de 40% dos estudos, o uso de inoculantes foi efetivo em reduzir as perdas fermentativas de MS. Esses dados estão de acordo com as observações realizadas no presente estudo.

Para as características de composição bromatológica da silagem de milho, houve efeito significativo do tempo de armazenamento das silagens, sobre os teores de FDN, FDA e valores de pH (Tabela 4).

Tabela 4. Composição químico-bromatológica da silagem de milho em função do tempo de armazenamento

Variável ²	Tempo de armazenamento (dias) ¹				Média	EPM ³
	30	60	90	120		
Matéria Seca, %	29,9 ^a	29,7 ^{ab}	29,4 ^b	29,6 ^{ab}	29,7	0,1
FDN, % da MS	46,2 ^b	45,4 ^b	45,6 ^b	48,2 ^a	46,3	0,2
FDA, % da MS	24,5 ^b	24,4 ^b	24,5 ^b	25,7 ^a	24,7	0,2
pH	3,71 ^b	3,69 ^c	3,70 ^{bc}	3,77 ^a	3,7	0,0

¹ Médias seguidas de letras diferentes na linha, são estatisticamente diferentes pelo teste Tukey (P<0,05).

² Fibra em detergente neutro (FDN); fibra em detergente ácido (FDA).

³ Erro padrão da média.

Fonte: O autor.

As variáveis FDN e FDA apresentaram maiores valores após 120 dias de armazenamento (48,2% e 25,7% da MS) comparados aos demais períodos. De acordo com PEDROSO (2003) o FDN e FDA tornam-se proporcionalmente mais concentrados na MS da silagem com o passar do tempo, decorrente das perdas de MS na forma de gases e efluente que ocorrem durante o processo.

A variável pH apresentou-se abaixo de 3,8, típica para silagens de milho KLEINSCHMIT et al. (2005) e KLEINSCHMIT et al. (2006), porém houve diferença estatística entre os tempos de abertura. Silagens armazenadas por 120 dias apresentaram pH ligeiramente superior, o que pode estar relacionado a degradação de ácido láctico por fermentações secundárias.

4.4.2 Perdas por gases e efluente

As perdas fermentativas das silagens de milho estão apresentadas na Tabela 5. Nas condições deste ensaio, a produção de efluente decorrente do extravasamento do conteúdo citoplasmático para o meio, com perda de componentes solúveis, apresentou valores bastante reduzidos, com média de 12,7 kg/t de MV, com diferença significativa (P<0,05) entre os tratamentos Controle e Aditivo. Provavelmente a menor produção de efluentes na silagem aditivada, pode ser devida ao rápido abaixamento do pH nesse material, com redução na ruptura celular mediada por enzimas da própria planta.

Tabela 5. Perdas fermentativas e de energia da silagem de milho sem aditivos (Controle) ou inoculada com aditivo microbiano (Aditivo)

Variáveis	Tratamentos ¹		Média	EPM ³	Efeitos ²	
	Controle	Aditivo			A	T x A
Efluente, kg/t	14,0 ^a	11,4 ^b	12,7	0,5	**	Ns
Gases, % MS	4,5	4,4	4,4	0,6	ns	Ns
Perda Total MS, %	5,8	5,4	5,6	0,6	*	Ns

¹ Médias seguidas por letras diferentes na linha são estatisticamente diferentes pelo teste Tukey (P<0,05).

² ns - não significativo; * (P<0,05); ** (P<0,01); armazenamento (A); tratamento (T); interação tratamento com armazenamento (TxA).

³ Erro padrão da média.

Fonte: O autor.

A produção de efluente é diretamente proporcional à quantidade de água (umidade) da forragem ensilada (ROTZ et al., 1993). A lixiviação de compostos nitrogenados, carboidratos e minerais ocorre no efluente das forragens ensiladas com elevado teor de umidade, sendo assim, a produção desse deve ser evitada para evitar problemas ao processo fermentativo (OUDE ELFERINK et al., 2000), como o aumento da proteólise e o estabelecimento de bactérias do gênero *Clostridium* na massa ensilada.

A variável produção de gases não diferiu estatisticamente entre os tratamentos, com valores bastante semelhantes para o Controle (4,5% da MS) e Aditivo (4,4% da MS). Esses valores são superiores aos verificados por OLIVEIRA et al. (2010) de 2,2% da MS para silagem de milho sem aditivos.

As perdas totais de MS das silagens, da mesma forma, foram semelhantes e reduzidas para ambos os tratamentos (5,8 e 5,4%, para controle e aditivo, respectivamente). Avaliando trabalhos científicos publicados entre os anos de 1990 e 1995, KUNG Jr. (2009) verificou que as perdas de MS foram reduzidas com o uso de aditivos em apenas 35% dos estudos. Dessa forma, os resultados aqui verificados estão de acordo com a maior parte dos estudos realizados.

Houve efeito significativo dos diferentes tempos de armazenamento (dias) sobre as variáveis de perdas fermentativas. (Tabela 6).

Tabela 6. Perdas fermentativas e de energia da silagem de milho em função dos tempos de armazenamento

Variável	Tempo de armazenamento (dias) ¹				Média	EPM ²
	30	60	90	120		
Efluente, Kg/t	5,1 ^d	8,8 ^c	16,7 ^b	20,2 ^a	12,5	0,7
Gases, % MS	3,0	4,0	5,0	5,7	4,4	0,8
Perda Total MS, %	3,5 ^b	4,9 ^{ab}	6,6 ^a	7,6 ^a	5,6	0,8

¹ Médias seguidas de letras diferentes na linha, são estatisticamente diferentes pelo teste Tukey (P<0,05).

² Erro padrão da média.

Fonte: O autor.

O tempo de armazenamento elevou a produção de efluentes e a perda total de MS. Ocorreu diferença estatística (P<0,05) entre todos os tempos (30, 60, 90 e 120 dias) com valores de 5,1; 8,8; 16,7 e 20,2 kg/t de Massa Verde (MV), respectivamente. OLIVEIRA et al. (2010) verificaram, para silagens de milho colhidas no momento ideal, perdas por efluente acima de 20 kg/t de MV, com 60 dias de fermentação, valor superior ao verificado neste ensaio (8,8 kg/t de MV) no mesmo período.

Para a variável produção de gases, não foi verificado efeito significativo de tempo de armazenamento, embora tenha havido tendência numérica (P=0,13) de elevação em função do tempo. Esse efeito foi significativo para as perdas totais de MS, que apresentam maiores valores aos 90 e 120 dias após a ensilagem. As maiores perdas nos tempos mais prolongados de armazenamento podem estar relacionadas às fermentações secundárias, normalmente mediadas por bactérias heteroláticas, que apresentam metabolismo fermentativo mais lento. Esses microrganismos caracterizam-se pela produção de CO₂ na conversão de ácido láctico e carboidratos aos ácidos acético e propiônico, acarretando assim maiores perdas de MS (McDONALD et al., 1991).

4.4.3 Teor dos ácidos orgânicos e etanol

O teor típico dos produtos finais da fermentação de silagem de milho são: pH de 3,7 a 4,2; ácido láctico, de 4 a 7% da MS; ácido acético, de 1 a 3 %da MS, ácido propiônico abaixo de 0,1% da MS e ácido butírico 0,0 % da MS; de 1 a 3% da MS (KUNG Jr. et al., 2002). Esses teores diferem dos verificados no presente ensaio

para o ácido láctico. O mesmo foi verificado por FERREIRA (2001) que observou teores de 6,0 a 8,0% para o ácido láctico nas silagens de milho.

Os teores de ácidos orgânicos e etanol das silagens de milho está apresentada na Tabela 7.

Tabela 7. Teores dos ácidos graxos voláteis (acético, propiônico e butírico), ácido láctico e etanol nas silagens de milho (% da MS)

Variáveis	Tratamentos ¹		Média	EPM ³	Efeitos ²	
	Controle	Aditivo			A	T x A
Etanol	1,99 ^a	1,89 ^b	1,94	0,01	**	**
Ácido acético	1,84	1,86	1,85	0,01	ns	ns
Ácido propiônico	0,05	0,05	0,05	0,00	**	**
Ácido butírico	0,01	0,01	0,01	0,00	ns	ns
Ácido láctico	7,57	7,76	7,67	0,41	ns	**

¹ Médias seguidas de letras diferentes na linha são estatisticamente diferentes pelo teste Tukey (P<0,05).

² ns - não significativo; * (P<0,05); ** (P<0,01); armazenamento (A); tratamento (T); interação tratamento com armazenamento (TxA).

³ Erro padrão da média.

Fonte: O autor

Em relação a concentração de etanol, HUISDEN et al. (2009) verificaram para as silagens controle e aditivada, produções de 0,94 e 0,59% da MS, respectivamente. Em contraste, MARI et al. (2009) observaram produções de etanol de 0,70 e 0,69% da MS nas silagens de milho controle e aditivada com bactéria heterolática. No atual ensaio, a silagem controle apresentou maior produção de etanol em relação a aditivada (1,99 e 1,89 % da MS, respectivamente). De modo geral, pode-se considerada uma elevada produção de etanol nas silagens de milho, sendo o menor teor de etanol na silagem com aditivo, um provável controle do crescimento das leveduras, as quais produzem o etanol como resultado de seu metabolismo no consumo de parte dos carboidratos.

O Aditivo não influenciou os teores de ácidos na silagem. Esse efeito também foi verificado por KLEINSCHMIT et al. (2005) avaliando inoculantes bacterianos. MARI et al. (2009) não verificaram diferença nos teores de ácido acético (2,24 e 2,41% da MS para silagens controle e aditivo, respectivamente). Esses valores são bastante superiores quando comparados aos teores de ácido acético verificado nesse ensaio, onde a bactéria *L. brevis* mostrou-se ineficiente em

alterar a composição de ácidos, prevalecendo a fermentação homolática, verificada pela elevada produção de ácido láctico (Tabela 7), o que pode ter refletido na ausência de efeito da inoculação sobre a estabilidade aeróbia. Em contraste, KUNG Jr. et al. (1993) verificaram diferenças na produção do ácido acético entre as silagens com teores de 1,82 e 2,36% da MS para as silagens de milho controle e aditivadas com *L. brevis*.

O teor elevado de ácido láctico no presente ensaio indica fermentação preferencial das bactérias homoláticas, para ambos os tratamentos. Valores relativamente elevados desse ácido também foram verificados por LUTHER (1986); e MEESKE et al. (1998). Porém, é importante destacar que o teor de ácido láctico nas silagens não representa necessariamente a quantidade desse ácido produzido no processo fermentativo, uma vez que parte do ácido láctico pode ter sido metabolizada em fermentações secundárias (MOON, 1983). Para ambas as silagens esse teor pode ser considerado demasiadamente alto.

A teor dos ácidos graxos em função do tempo de armazenamento está apresentada na Tabela 8.

Tabela 8. Teores dos ácidos graxos voláteis (acético, propiônico e butírico), ácido láctico e etanol em função dos tempos de armazenamento (%MS)

Variáveis	Tempo de armazenamento (dias) ¹				Média ²	EPM
	30	60	90	120		
Etanol	1,51 ^d	1,78 ^c	2,16 ^b	2,34 ^a	1,95	0,01
Ácido acético	1,73	1,86	1,91	1,91	1,85	0,01
Ácido propiônico	0,04 ^b	0,05 ^b	0,06 ^a	0,05 ^a	0,05	0,00
Ácido butírico	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00
Ácido láctico	7,51	7,41	8,26	7,47	7,66	0,10

¹ Médias seguidas de letras diferentes na linha, são estatisticamente diferentes pelo teste Tukey (P<0,05).

² Erro padrão da média.

Fonte: O autor.

Os teores de etanol e ácido propiônico apresentaram elevação em função do tempo de armazenamento da ensilagem. Esse efeito pode ser decorrente de fermentações secundárias por microrganismos heteroláticos e leveduras. Silagens de milho normalmente não apresentam ácido butírico em sua composição em função do pH baixo, evitando o crescimento de clostrídios (HU et al., 2009). Apenas traços

de ácido butírico foram detectados (Tabelas 7 e 8), indicando ausência de fermentação clostrídica e silagens de excelente qualidade fermentativa.

4.4.4 Estabilidade aeróbia

Na Tabela 9 estão apresentadas as variáveis de estabilidade aeróbia das silagens de milho, sem e com adição de inoculante microbiano. Nenhuma das variáveis avaliadas durante a fase de exposição aeróbia foi influenciada pelo tratamento aplicado na ensilagem do milho.

Tabela 9. Estabilidade aeróbia da silagem de milho sem aditivos (Controle) ou inoculada com aditivo microbiano (Aditivo)

Variáveis ²	Tratamentos				Efeitos ¹	
	Controle	Aditivo	Média	EPM ³	A	T x A
EA, horas	38,3	37,1	37,7	0,7	**	ns
HTMax, horas	51,1	49,7	50,4	1,1	**	ns
TMax, °C	38,5	38,5	38,5	0,1	**	ns
PMS, %MS	9,7	9,9	9,8	0,5	ns	ns

¹ ns - não significativo; * (P<0,05); ** (P<0,01); armazenamento (A); tratamento (T); interação tratamento com armazenamento (TxA).

² EA – estabilidade aeróbia; HTMax – Horas para temperatura máxima; Tmax – Temperatura máxima; PMS – perda de matéria seca.

³ Erro-padrão da média

Fonte: O autor.

A estabilidade aeróbia (EA), definida como o número de horas para elevação da temperatura em 2 °C, foi semelhante para ambos os tratamentos com silagens, onde a inoculação com microrganismos homo e heteroláticos não foi efetiva em inibir o crescimento de microrganismos deterioradores e o aquecimento da massa. DANNER et al. (2003) verificaram em silagens de milho inoculadas com *L. buchneri*, *L. brevis* e *L. plantarum* valores de 274, 72 e 26 horas de EA, respectivamente. Os autores relacionaram esses valores à produção de ácido acético, mediada pelos microrganismos heteroláticos durante a fermentação. MEESKE et al. (1990) verificaram que silagens de milho inoculadas com bactérias ácido lácticas foram instáveis quando expostas ao ar durante 120 horas.

No presente ensaio, o efeito positivo do microrganismo heterolático não foi verificado, em relação à silagem não inoculada (Controle). MUCK (2004) em estudo

de três anos avaliando a combinação de microrganismos homoláticos, não verificou efeito do aditivo sobre a EA em silagem de milho em relação à silagem não inoculada, porém os valores de horas de EA foram bastante superiores (71, 77 e 69 horas para cada ano) quando comparados às médias deste experimento. Isso pode estar diretamente relacionado ao manejo agrônomo do milho no campo e refletir-se em uma menor ou maior carga microbiana (fauna epifítica) na forragem no momento do corte para ensilagem o que pode alterar o tempo de estabilidade aeróbia, conforme verificado por MUCK (2004).

Em revisão da literatura, ZOPOLLATTO et al. (2009) verificaram valores de estabilidade aeróbia para silagem de milho mínimos de 25 e máximos de 41 horas, estando os valores médios próximos aos observados nesse ensaio (37,7 horas). Isso demonstra a necessidade de mais estudos sobre o assunto, uma vez que a eficiência de um aditivo depende do período de estabilidade da silagem proporcionado, em condições de aerobiose.

Silagens de milho em contato com o ar após a abertura dos silos apresentam crescimento exacerbado de populações de leveduras. O crescimento de leveduras é a principal causa do início da deterioração aeróbia das silagens (RANJIT et al. 2000), consumindo ácido láctico fornecendo condições para o desenvolvimento de microrganismos oportunistas, os quais tornam-se ativos metabolicamente, produzem calor e consomem nutrientes da silagem.

As perdas de matéria seca (PMS) verificadas durante ensaio de estabilidade aeróbia apresentaram valores médios de 9,8% da MS, consideradas dentro dos padrões aceitos para silagem de milho. A magnitude dessas perdas está relacionada a qualidade das silagens, que conforme a composição químico-bromatológica (Tabelas 3 e 7) apresentou elevada qualidade no presente ensaio. FERLON et al. (1995) afirmam que a elevada disponibilidade de carboidratos residuais para o processo de fermentação favorece a produção de álcoois pelas leveduras, com maior risco de deterioração das silagens após a abertura dos silos, e menor recuperação de matéria seca.

Desse modo, os carboidratos solúveis e o ácido láctico disponíveis na massa, são substratos que alguns dos microrganismos aeróbios utilizam como fonte de energia para crescimento e multiplicação de suas colônias. A presença de leveduras para ALLI et al. (1983) na ordem de 10^6 UFC/g de forragem está associada a deterioração das silagens, onde colônias superiores a 100,000 UFC/g podem

comprometer a estabilidade aeróbia da massa em algumas horas (KUNG Jr. et al., 1998; BORREANI et al.; 2002; MUCK, 2004).

A proliferação dos microrganismos aeróbios pode ser monitorada pela elevação na temperatura da massa (Figura 2). A temperatura pode chegar à 45 °C (ROTZ et al., 1994), sendo verificados picos de aquecimento de 45,5 °C no presente ensaio.

Todas as silagens apresentaram picos de aquecimento semelhantes atingindo-se em média 38,5 °C. As variáveis HTMax e PMS, também não diferiram estatisticamente ($P>0,05$), sendo as perdas de MS na fase aeróbia decorrentes do metabolismo de microrganismos deterioradores, que convertem carboidratos solúveis e ácidos orgânicos em calor, água e CO₂.

O processo de deterioração da silagem em exposição ao oxigênio causado pela ação de microrganismos deterioradores, tem como resultado, a produção de CO₂, sendo uma medida de perdas de matéria seca. ASHBELL et al. (1991) propuseram o uso do CO₂ produzido como um indicador da degradação de silagem em condições aeróbias.

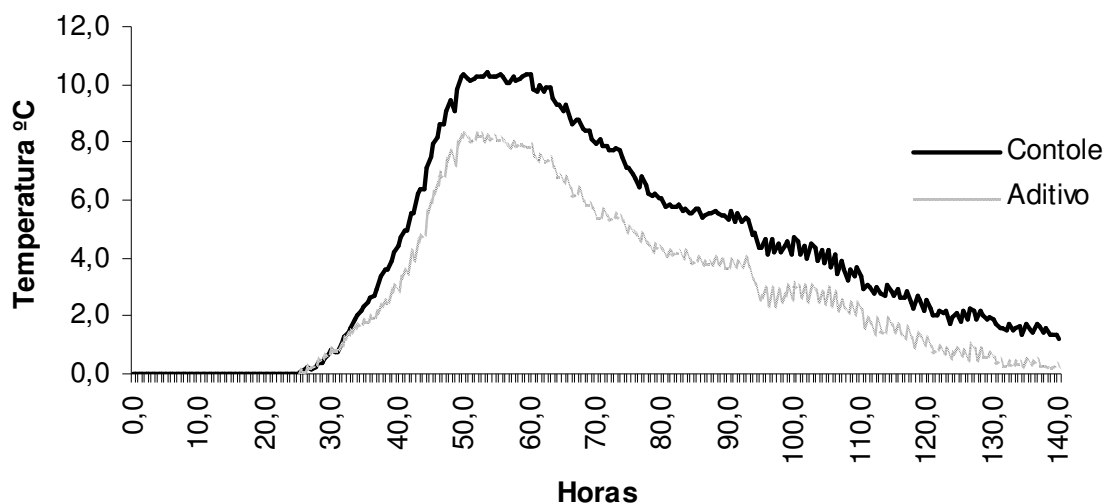


Figura 2. Gráfico da diferença de temperatura, gerado pela subtração da temperatura das silagens de cada repetição pela temperatura ambiente, demonstrando a quebra da EA e a temperatura máxima das silagens durante fase de exposição aeróbia, para os tratamentos controle e aditivo.

Fonte: O autor.

As variações da temperatura e produção de dióxido de carbono nas 140 horas de avaliação apresentaram desempenho similar (Figura 3). O aditivo utilizado não foi eficaz em aumentar a estabilidade aeróbia de silagem e reduzir as emissões de CO₂, possivelmente devido ao predomínio de fermentação homolática mediada por *L. plantarum* e *E. faecium*.

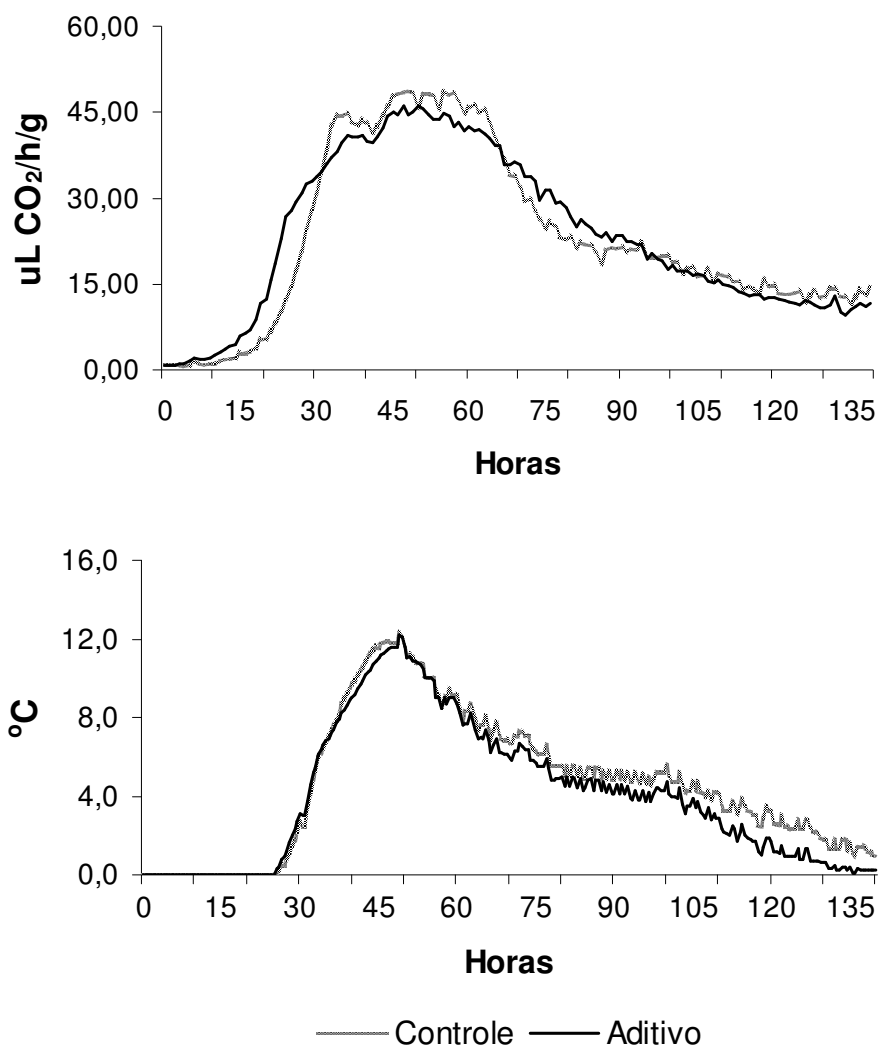


Figura 3. Produções de CO₂ e curva de temperatura (diferença em relação à temperatura ambiente) de silagens de milho de planta inteira, sem aditivo (Controle) ou com aditivo microbiano (Aditivo) expostas ao ar por 140 horas.

Fonte: O autor.

Um coeficiente de correlação positivo de ($r=0,60$) foi observado entre o número de horas ao pico de temperatura e o número de horas para o pico de CO₂ ($P=0,06$). Isto significa que a avaliação da temperatura é um bom indicador da produção de CO₂, parâmetro proposto por ASHBELL et al. (1991) para avaliar as

perdas de MS em aerobiose. Da mesma forma, houve forte correlação positiva ($r=0,78$) entre o número de horas para o pico das emissões de CO_2 e a estabilidade aeróbia das silagens ($P < 0,01$). A correlação entre perdas de MS e produção acumulada de CO_2 em 140 horas foi positiva ($r=0,52$), embora não significativa ($P=0,12$). Assim, a produção de CO_2 avaliada por Analisador de Gás em Infravermelho (IRGA) foi bem correlacionada com o aumento da temperatura da silagem, sendo um bom indicador de perdas em condições aeróbias (Figura 3).

JOHNSON et al. (2002), avaliando silagens de milho inoculadas com *L. plantarum* e *E. faecium* próprios para essa cultura, verificaram diferença significativa para inoculação das silagens, a qual melhorou a estabilidade aeróbia. Esses autores também verificaram elevação no tempo para atingir a temperatura máxima (HTmax) para as silagens inoculadas após a exposição aeróbia, sugerindo que os aditivos foram eficientes em estender a EA e HTMax da silagem de milho, refletindo-se em redução da perdas de matéria seca. Contudo esse efeito não foi observado no presente ensaio.

Na Tabela 10 estão apresentados os efeitos dos tempos de armazenamento sobre as variáveis EA, HTMax e TMax.

Tabela 10. Estabilidade aeróbia da silagem de milho em função do tempo de armazenamento

Variável ²	Tempo de armazenamento (dias) ¹				Média	EPM ³
	30	60	90	120		
EA, horas	45,9 ^a	30,4 ^c	40,8 ^b	33,6 ^c	37,6	0,99
HTMax, horas	59,7 ^a	43,5 ^c	51,9 ^b	46,5 ^{bc}	50,3	1,51
TMax, °C	39,2 ^a	37,1 ^c	38,1 ^b	39,6 ^a	38,5	0,21

¹ Médias seguidas de letras diferentes na linha, são estatisticamente diferentes pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

² EA – estabilidade aeróbia; HTMax – Horas para temperatura máxima; TMax – Temperatura máxima; PMS – perda de matéria seca.

³ Erro-padrão da média.

Verifica-se na Tabela 10 que, embora tenha havido diferenças estatísticas entre os períodos de armazenamento da silagem, a explicação biológica dos efeitos verificados não pode ser correlacionada às variáveis avaliadas no presente estudo, e podem estar relacionadas ao efeito da temperatura ambiente nos diferentes dias quando os silos foram abertos. Contudo, a magnitude de variação entre os períodos

pode ser considerada pequena, quando comparada aos intervalos descritos na literatura consultada (KUNG Jr., 2009).

Os maiores níveis de deterioração das silagens em condições aeróbias acontecem em temperatura por volta dos 30 °C, havendo intenso crescimento de fungos, elevação de pH e maior produção de CO₂ (ASHBELL et al., 2002), o que é bastante comum em regiões de clima tropical. Em ensaio realizado por GIMENES et al. (2006), avaliando inoculantes enzimo-bacterianos sobre a temperatura da silagem de milho armazenada por 74 dias, o tratamento com aditivo apresentou menores picos de temperatura (36 °C), sendo necessário maior tempo para alcançar tal pico de temperatura (61 h), em relação a silagem controle, que apresentou maior pico de temperatura (42 °C) em menor tempo (34 h).

Nas silagens do presente ensaio, observou-se tendência para um segundo pico de aquecimento nas silagens. De acordo com GIMENES et al. (2006), isso confirma o fato de que embora o aumento inicial da temperatura seja causado pelo crescimento de leveduras e bactérias, após algum tempo outros microrganismos passam a contribuir para a deterioração do material.

No presente ensaio, a população heterolática de *L. brevis* inoculada não conseguiu se sobrepôr ao crescimento exacerbado da população de microrganismos homoláticos, o que caracterizou uma fermentação tipicamente ácido-lática, com reduzidas perdas fermentativas e grande propensão à degradação após a abertura dos silos

4.5 CONCLUSÕES

O aditivo microbiano usado foi ineficiente em reduzir as perdas fermentativas, em elevar a estabilidade aeróbia ou melhorar a composição bromatológica das silagens.

As silagens avaliadas apresentaram bom padrão de fermentação, com poucas alterações nos valores nutricionais e perdas fermentativas, nos diferentes tempos de armazenamento adotados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLI, I.; FAIRBAIRN, R.; BAKER, B. E. et al. The effects of ammonia on the fermentation of chopped sugarcane. **Animal Feed Science and Technology**, v.9, p.291-299, 1983.
- ASHBELL, G.; WEINBERG, Z.G.; AZRIELI, A.; A simple system to study the aerobic deterioration of silages. **Canadian Agricultural Engineering**, v.33, p.171-175, 1991.
- ASHBELL, G.; WEINBERG, Z.G.; HEN, Y. et al. The effect of temperature on the aerobic stability of wheat and corn silage. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**, v.28, p.261-263, 2002.
- BORREANI, G.; BERNARDES, T.F.; TABACCO, E. Aerobic deterioration influences the fermentative, microbiological and nutritional quality of maize and sorghum silages on farm in high quality milk and cheese productions chain. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, Supl. esp., p.68-77, 2008.
- BORREANI, G.; TOBACCO, E.; CAVALLARIN, L. A new oxygen barrier film reduces aerobic deterioration in farm-scale corn silage. **Journal of Dairy Science**, v.90, n.10, p.4701 - 4706, 2007.
- BORREANI G.; TABACCO E.; COLOMBARI G.; Influenza del deterioramento aerobico degli insilati sulla qualità dei prodotti caseari. **L'Informatore Agrario**, v.11, p.58-61, 2002.
- CAPPELLE, E.R.; VALADARES FILHO, S.C.; SILVA, J.F.C. et al. Estimativas do valor energético a partir de características químicas e bromatológicas dos alimentos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.6, p.1837-1856, 2001.
- DANNER, H.; HOLZER, M.; MAYRHUBER, E. et al. Acetic acid increases stability of silage under aerobic conditions. **Applied and Environmental Microbiology**, v.69, n.1, p.562-567, 2003.
- FERLON, D.R.; HENDERSON, A.R.; ROOKE, J.A. The fermentative preservation of grasses and forage crops. **Journal of Applied Bacteriology**, Supl., v.79, n.24, p.118-131, 1995.
- FERREIRA, J.J. Estágio de maturação ideal para ensilagem do milho e do sorgo. In: CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A.; RODRIGUES, J.A.S. et al. (Eds.) PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE SILAGEM DE MILHO E SORGO. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2001, p.405-428.
- GIMENES, A.L.G. de.; MIZUBUTI, I.Y.; MOREIRA, F.B. et al. Composição química e estabilidade aeróbia em silagens de milho preparadas com inoculantes bacteriano e/ou enzimático. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, v.28, n.2, p.153-158, 2006.
- HALLADA, C. **Why new corn silage doesn't feed as well.** Hoard's Dairyman, Novembro/2009. Disponível em: <<http://www.qualitysilage.com/PDF/C-Hallada-Why-new-corn-silage-Hoards-111009.pdf>> Acessado em: 29/11/2010.
- HOLDEN, L.A. Comparison of methods of *in vitro* dry matter digestibility for ten feeds. **Journal of Dairy Science**, v.82, n.8, p.1791-1794, 1999.
- HU, W.; SCHMIDT, R. J.; McDONELL, E.E. et al. The effect of *Lactobacillus buchneri* 40788 or *Lactobacillus plantarum* MTD-1 on the fermentation and aerobic stability of corn silages ensiled at two dry matter contents. **Journal Dairy Science**, v.92, p.3907-3914, 2009.

HUISDEN, C.M.; ADESOGAN, A.T.; KIM, S.C. et al. Effect of applying molasses or inoculants containing homofermentative or heterofermentative bacteria at two rates on the fermentation and aerobic stability of corn silage. **Journal of Dairy Science**, v.92, n. 2, 2009.

IAPAR. Instituto Agrônomo do Paraná. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=597>>. Acessado em: 25 mar. 2010.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em:<<http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/automaticas.php>>. Acessado em 25 mar. 2010.

JOBIM, C.C.; NUSSIO, L.G.; REIS, R.A. et al. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, Supl. esp., p.101-120, 2007.

JOHNSON, L.M.; HARRISON, J.H.; DAVIDSON, D. et al. Corn silage management: effects of maturity, inoculation, and mechanical processing on pack density and aerobic stability. **Journal of Dairy Science**, v 85. n.2, p.434-444, 2002.

JONES, D.I.H.; JONES, R. The effect of crop characteristics and ensiling methodology on grass silage effluent production. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.60, n.2, p.73-81, 1995.

KLEINSCHMIT, D. H.; KUNG Jr. L. The effects of *Lactobacillus buchneri* 40788 and *Pediococcus pentosaceus* R1094 on the fermentation of corn silage. **Journal Dairy Science**, v.89, p.3999-4004, 2006.

KLEINSCHMIT, D.H.; SCHMIDT, R.J.; KUNG, Jr. The effects of various antifungal additives on the fermentation and aerobic stability of corn silage. **Journal of Dairy Science**, v.88, n.6, p.2130-2139, 2005.

KÖPPEN, W. Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra. México: **Fondo de Cultura Económica**, 1948, 478p.

KUNG, Jr., L.; CHEN, J. H.; KRECK E. M. et al. Effect of microbial of corn silage for inoculants on the nutritive value lactating dairy cows. **Journal Dairy Science**, v.76, p.3763-3770, 1993.

KUNG, Jr. L.; SHAVER, R. **Interpretation and use of silage fermentation analysis reports**. University of Wisconsin -Extension. Focus on Forage 3 (13), 1–5. Disponível em: <<http://www.uwex.edu/ces/crops/uwforage/Fermentation.pdf>> Acessado em: 29 out. 2010.

KUNG, Jr., L.; SHEPERD, A.C.; SMAGALA, A.M. et al. The effect of preservatives based on propionic acid on the fermentation and aerobic stability of corn silage and a total mixed ration. **Journal of Dairy Science**, v.81, p.1322-1330, 1998.

KUNG Jr., L. Microbial and chemical additives for silage: effect on fermentation and animal response. In: Workshop sobre milho para silagem, 2., Piracicaba, 2000. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2000, p.1-53.

KUNG Jr., L. Effects of microbial additives in silages: facts and perspectives. In: ZOPOLLATTO, M.; MURARO, G.B.; NUSSIO, L.G. (Ed.). **International symposium on forage quality and conservation**, v.1., São Pedro, 2009. **Proceedings...** Piracicaba: FEALQ, 2009. p.7-22.

KUNG Jr., L.; GRIEVE, D.B.; THOMAS, J.W. et al. Added ammonia or microbial inocula for fermentation and nitrogenous compounds of alfalfa ensiled at various percents of dry matter. **Journal of Dairy Science**, v.67, p.299-306, 1984.

LUTHER, R.M. et al. Effect of microbial inoculation of whole-plant corn silage on chemical characteristics, preservation and utilization by steers. **Journal Animal Science**, v.63, p.1329-1336, 1986.

MARI, L.J.; SCHMIDT, R.J.; NUSSIO, L.G. et al. An evaluation of the effectiveness of *Lactobacillus buchneri* 40788 to alter fermentation and improve the aerobic stability of corn silage in farm silos: Short communication. **Journal Dairy Science**, v.92, p.1174-1176, 2009.

McDONALD, P.; HENDERSON, A.R.; HERON, S.J.E. **The biochemistry of silage**. 2.ed. Merlow: Chalcomb Publications, 1991, 340p.

MEESKE, R.; BASSON, H.M. The effect of a lactic acid bacterial inoculant on maize silage. **Animal Feed Science Technology**, v.70, p.239-247, 1998.

MOON, N.J. Inhibition of the growth of acid tolerant yeasts by acetate, lactate and propionate and their synergistic mixtures. **Journal of Applied Bacteriology**, v.55, p.453-460, 1983.

MUCK, R.E. Effects of corn silage inoculants on aerobic stability. **Transactions of the ASAE**, v.47, p.1011-1016, 2004.

MUCK, R. E.; KUNG Jr. L. Effects of silage additives on ensiling. In: Silage: field to feedbunk. 1997, **Proceedings...** Hershey: NRAES-99, 1997, p.187-199.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7.ed. National Academy Press, 2001, 381p.

O'KIELY, P.O.; CLANCY, M.; DOYLE, E.M. Aerobic stability of grass silage mixed with a range of concentrate feedstuffs at feed-out. In: International grassland congress, 19, São Pedro, 2001. **Proceedings...** Piracicaba: FEALQ, 2001, p.794-795.

OLIVEIRA, L.B.; PIRES, A.J.V.; CARVALHO, G.G.P. et al. Perdas e valor nutritivo de silagens de milho, sorgo-sudão, sorgo forrageiro e girassol. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.1, p.61-67, 2010.

OUDE ELFERINK, S.J.W.H.; DRIEHIUS, F.; GOTTSCHAL, J.C. et al. **Silage fermentation processes and their manipulation**. Silage making in the tropics with particular emphasis on smallholders. FAO, Rome, L. Mannelje (ed.), p.17-30, 2000.

PEDROSO, A.F. de. **Aditivos químicos e microbianos no controle de perdas na qualidade de silagem de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.)**. 2003. 120p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiza de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

PALMIQUIST, D.; CONRAD, H. Origin of plasma fatty acids in lactating cows fed high fat diets. **Journal of Dairy Science**, Lancaster, v.74, p.3152, 1971.

PIMENTEL, J.J.O.; SILVA, L.F.C.; FILHO, S.C.V. et al. Efeito da suplementação protéica no valor nutritivo de silagens de milho e sorgo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.27, n.5, p.1042-1049, 1998.

PRYCE, J.D. A modification of Barker-Summerson method for the determination of lactic acid. **Analyst**, Cambridge, v.94, p.1151-1152, 1969.

RANJIT, N.K.; KUNG Jr., L. The effect of *Lactobacillus buchneri*, *Lactobacillus plantarum*, or a chemical preservative on the fermentation and aerobic stability of corn silage. **Journal of Dairy Science**, v.83, p.526-535, 2000.

RODRIGUES, P.H.M.; ANDRADE, S.J.T.; RUZANTE, J.M et al. Valor nutritivo da silagem de milho sob o efeito da inoculação de bactérias ácido lácticas. **Revista Brasileira de Zootenia**, v.31, n.6, p.2380-2385, 2002.

ROTZ, C.A.; MUCK, R.E. Changes in forage quality during harvest and storage. In: FAHEY, G.C. et al. (Eds). FORAGE QUALITY, EVALUATION, AND UTILIZATION. Madison: University of Nebraska, p.828-868, 1994.

ROTZ, C.A.; PITT, R.E.; MUCK, E.M. et al. Direct-cut harvest and storage of alfalfa on the dairy farm. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v.36, n.3, p.621-628, 1993.

SAS Institute. **SAS User's Guide. Statistics**, v.8.01, Edition. SAS Inst., Inc., Cary, NC, 1999.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3.ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2002, 235p.

ZOPOLLATTO, M.; DANIEL, J.L.P.; NUSSIO, L.G. Aditivos microbiológicos em silagens no Brasil: revisão dos aspectos da ensilagem e do desempenho de animais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, Supl. esp., p.170-189, 2009.

VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. Ithaca: Cornell University, 1994. 476p.

VELHO, J.P.; MÜHLBACH, P.R.F.; NÖRNBERG, J.L. et al. Composição bromatológica de silagens de milho produzidas com diferentes densidades de compactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Supl., v.36, n.5, p.1532-1538, 2007.

WEINBERG, Z.G.; SHATZ, O.; CHEN, Y. et al. Effect of lactic acid bacteria inoculants on in vitro digestibility of wheat and corn silages. **Journal of Dairy Science**, v.90, n.10, p.4754-4762, 2007.

METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE AERÓBIA DA SILAGEM DE MILHO POR TERMOGRAFIA EM INFRAVERMELHO (TIV)

RESUMO

Este experimento teve como objetivo testar nova metodologia de avaliação qualitativa da estabilidade aeróbia de silagens de milho usando termografia em infravermelho. As silagens foram confeccionadas em silos experimentais com cinco repetições por tratamento e armazenados por diferentes períodos (30, 60, 90 e 120 dias). Foi avaliada a inoculação com *L. plantarum*, *L. brevis* e *E. faecium* em relação à silagem sem aditivos (Controle). Após a abertura, houve exposição aeróbia das silagens em câmara climática a 25 ± 1 °C durante 148 horas. As medidas de temperatura das silagens foram feitas três vezes ao dia com o uso de câmara termográfica em infravermelho. As variáveis estudadas foram: temperatura máxima na termografia (IMAX), temperatura média na termografia (IMED) e temperatura mínima na termografia (IMIN) durante as 148 horas. Foram realizadas correlações das medidas de temperatura por infravermelho com as medidas de temperatura interna (TINT) mensuradas por *data loggers* inseridos no centro da massa. Houve correlação moderada para as variáveis IMAX, IMED e IMIN (0,55; 0,54 e 0,46), respectivamente, com TINT. Houve diferença estatística ($P<0,05$) entre os diferentes tempos de armazenamento das silagens para as temperaturas por termografia, com menores temperaturas registradas aos 90 dias de armazenamento. Os resultados do ensaio demonstraram que o uso de termografias em infravermelho deve ser melhor avaliado para determinação da estabilidade aeróbia de silagens, uma vez que verificou-se diferenças no comportamento das temperaturas entre períodos sem uma provável explicação baseada nas variáveis avaliadas no presente ensaio.

Palavras-chave: aquecimento, imagem, perdas, radiação, silagem, temperatura

METHODOLOGY FOR AEROBIC STABILITY EVALUATION OF CORN SILAGE USING INFRARED THERMOGRAPHY

ABSTRACT

This trial aimed to evaluate a new methodology tool for qualitative evaluation of aerobic stability of corn silage using infrared thermography. The silages were made in lab silos with five replicates per each treatment. The silos were stored for 30, 60, 90 or 120 days. An additive containing *L. plantarum*, *L. brevis* and *E. faecium* was evaluated against a control treatment. After the opening, silages were air exposed in climate room (25 ± 1 °C) for 148 hours. Temperature measurements were taken three times a day using an infrared thermography camera. The variables were: maximum temperature by infrared thermography (IMAX), medium temperature by infrared thermography (IMED) and minimum temperature by infrared thermography (IMIN). Pearson's Correlations were made of infrared temperature measurements with the internal temperature (TINT) measured by data loggers buried in the silage. There was a moderate correlation among IMAX, IMED and IMIN (0.55, 0.54 and 0.46) with TINT, respectively. Statistical differences were detected between storage periods of silage, with lower temperatures recorded by infrared on 90 days. The test results showed that infrared thermography uses must be better evaluated for aerobic stability measurements because of uncertain behaviour of temperature measurements without explanations based on the variables evaluated in this study.

Key words: heating, image, losses, radiation, silage, temperature

5 INTRODUÇÃO

A conservação de forragens na forma de silagens é a prática mais usual de suplementação volumosa de bovinos em todo país, por ser uma prática tradicional e exigir baixo investimento em maquinários específicos para sua produção. Contudo, falhas no processo de produção e no uso da silagem podem comprometer a qualidade desse alimento, principalmente na fase posterior à abertura do silo, onde o ambiente torna-se novamente aeróbio, e a face exposta do silo fica novamente susceptível à degradação microbiana.

Embora praticamente todas as silagens estejam sujeitas a algum grau de degradação aeróbia, a determinação da severidade dessa degradação e do crescimento de microrganismos indesejáveis torna-se difícil, uma vez que evidências visuais só aparecem quando a degradação já está em estágio avançado. Diversos autores (KUNG et al., 2000; O'KIELY et al. 2001; BORREANI et al., 2008) correlacionaram a degradação aeróbia de silagens à elevação na temperatura desse alimento, decorrente da liberação de calor pela atividade respiratória microbiana.

Considerando que a proliferação desses microrganismos deterioradores necessita de oxigênio, tal processo é observado nas camadas superficiais da face exposta do silo, que entra em contato direto com o ar após a abertura. O monitoramento da temperatura superficial com o uso de imagens por termografias em infravermelho (TIV) da silagem em toda a área do painel do silo, permite a determinação das regiões onde houve maior proliferação de microrganismos deterioradores, com consequente elevação da temperatura.

Em 1800 o então astrônomo William Herschel, descobriu a energia infravermelha. Ele realizou um experimento usando um prisma para espalhar a luz no espectro de cores e termômetros com bulbos enegrecidos para medir as temperaturas das cores diferentes. Herschel observou elevação na temperatura do violeta ao vermelho e observou que a maior temperatura foi realmente além da luz vermelha. Herschel denominou a radiação que causava o aquecimento para além do espectro visível vermelho de “raios caloríficos”, conhecido atualmente como energia “infravermelha” (IAPAC, 2010).

Todos os seres e objetos emitem a radiação infravermelha, gerada pelos movimentos das moléculas e deslocamento de cargas eletromagnéticas que são emitidas na forma de partículas de fótons, os quais se movem na velocidade da luz.

A termografia digital em infravermelho consiste em uma técnica de avaliação da temperatura de superfícies orgânicas e inorgânicas, empregada em superfícies assimétricas de difícil contato, acesso ou aquecidas.

Dessa forma, o uso da termografia em infravermelho surge como uma ferramenta útil para avaliação do aquecimento de silagens expostas ao ar após a abertura do silo, e pode ser usada como ferramenta de avaliação no campo para emprego em silos de grande escala. O uso da TIV para a avaliação da temperatura superficial de silagens poderá ser diretamente correlacionada à dinâmica de desenvolvimento de microrganismos na fase exposta do silo. Assim, através do processamento das termografias, por meio de *software* específico, poderá determinar-se as regiões do silo com ação marcante dos microrganismos deterioradores, a magnitude dessas zonas de aquecimento, e o risco potencial de perdas de qualidade das silagens.

Futuramente essa avaliação pode tornar-se uma técnica de grande utilidade na identificação das regiões de desenvolvimento microbiológico, e fornecer em tempo real, a indicação ao operador dos locais de maior aquecimento e presença de possíveis microrganismos e compostos patogênicos presentes nas silagens.

O presente estudo teve como objetivo, avaliar correlações nas medidas entre as temperaturas geradas por câmera termográfica em infravermelho e as medidas internas de temperatura, da silagem de milho durante a fase de exposição aeróbia.

5.1 MATERIAL E MÉTODOS

5.1.1 Local do experimento

O experimento foi realizado em sala climatizada no Departamento de Fitotecnia, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Curitiba/PR, usando-se as silagens de milho confeccionadas segundo metodologia descrita no item 3.1 deste trabalho.

5.1.2 Desenho experimental e tratamentos

Amostras de 3,0 kg das silagens de cada unidade experimental foram colocados em baldes plásticos sem tampa, e mantidos em sala climatizada a 25 ± 1 °C por 148 horas. As temperaturas foram mensuradas por termografia em infravermelho três vezes ao dia. As variáveis avaliadas foram: Temperaturas máxima (IMAX), média (IMED) e mínima (IMIN) obtidas na TIV.

A fim de determinar o grau de associação entre as medidas realizadas, foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson (r) entre os parâmetros de temperaturas IMAX, IMED e IMIN à temperatura interna da silagem (TINT) e à temperatura ambiente da sala climatizada (TAMB). O ensaio foi realizado nos quatro tempos de armazenamento da silagem avaliados, conforme item 3.2.3 do presente trabalho.

O ensaio foi repetido nos quatro tempos de armazenamento das silagens (30, 60, 90 e 120 dias).

5.1.3 Coleta de imagens

As imagens foram coletadas e armazenadas com câmera termográfica em infravermelho (FLUKE, Ti 25 FT[®]) através de varredura por termografia em cada unidade experimental (balde plástico), onde cada pixel correspondeu a uma temperatura específica na imagem 100% em infravermelho e sensibilidade térmica $\leq 0,1$ °C (FLUKE, 2010). Os registros das termografias em infravermelho ocorreram três vezes ao dia, às 7:00; 13:00 e 18:00 horas, durante período de 148 horas.

Foram coletadas um total de 296 imagens termográficas durante todos os quatro períodos de avaliação da EA, sendo tabulados 627 dados de registro de temperaturas (máxima, média e mínima) pela câmera em infravermelho, uma vez que mais de uma unidade experimental pôde ser registrada em cada imagem.

A sala onde encontravam-se os baldes, foi climatizada para temperatura 25 ± 1 °C, porém, houve dificuldade em manter-se essa faixa de temperatura pré-determinada em alguns dias. Dessa forma, os registros obtidos onde as temperaturas ambiente estiveram fora da faixa de 23 a 28,3 °C, foram desconsiderados, restando um total de 516 dados de registro usados para determinação das correlações.

5.1.4 Ajustes do equipamento

Antes do início dos registros de cada imagem em infravermelho, procedeu-se o ajuste (sobreposição) da imagem infravermelha sobre a imagem digital (foco da imagem) a uma distância (altura) aproximada de 1,2 metros entre equipamento e a silagem. Esse é o único ajuste manual realizado para as coletas das imagens. Os demais foram realizados no *software* específico que acompanha a câmera térmica em infravermelho (*SmartView 2.1*).

A correta sobreposição da imagem em infravermelho sobre a imagem digital é fundamental, pois ajustes mal feitos causam variações na temperatura real emitida pelo objeto avaliado, provocando desvios nas medições e comprometendo a fidelidade das temperaturas registradas pelas termografias.

A emissividade da câmera termográfica foi ajustada para 0,95 conforme preconizado por STABENTHEINER et al. (1987) para materiais orgânicos (madeira).

5.1.5 Processamento das imagens

O processamento das termografias em infravermelho das silagens de milho foi realizado individualmente para cada repetição (balde), utilizando *software* específico (*SmartView 2.1*). Foram extraídas as temperatura (máxima, média e mínima) dentro de um quadrado delimitado manualmente usando o *software* no centro de cada balde conforme (Figura 4).

A delimitação da área para obtenção das temperaturas foi semelhantemente a delimitação feita por SCHAEFER et al. (2007), porém em círculo, para registro das temperaturas em bovinos.

Os dados das temperaturas máxima, média e mínima foram tabulados em planilha Excel e aplicados testes de correlação de Pearson entre essas variáveis e as medidas de temperatura interna das silagens. Também foi realizada análise de variância para as temperaturas médias avaliadas em cada tempo de armazenamento.

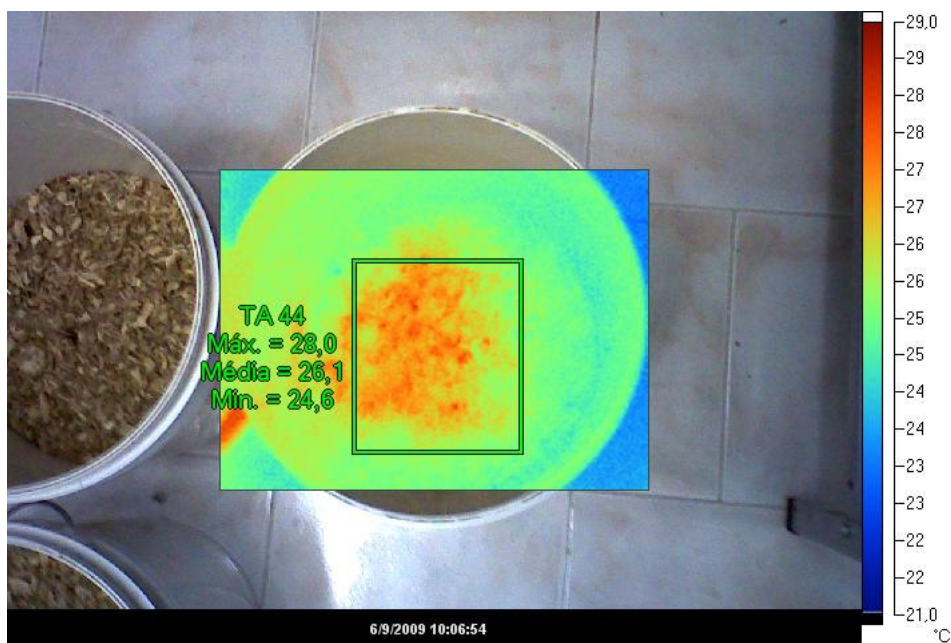


Figura 4. Termografia em infravermelho da silagem de milho durante fase de exposição aeróbia. Verifica-se o local selecionado (quadrado) no centro da imagem, com os registros da temperatura máxima, média e mínima (dia 06/09/2009 às 10:06:54 horas).

Fonte: O autor.

5.1.6 Análise de correlação linear

O coeficiente de correlação de Pearson é representado pela letra r e sua fórmula de calculo segue abaixo (SPIEGEL, 1993):

$$r = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

Onde:

r = coeficiente correlação linear para a amostra;

n = número de pares de observações presentes;

\sum = somatório;

$\sum x$ = somatório de todos os valores de x ;

$\sum x^2$ = indica que cada valor x deve ser elevado ao quadrado e então aqueles quadrados somados;

$(\sum x)^2$ = indica que o valor x deve ser somado e o total é elevado ao quadrado;

$\sum xy$ = indica que cada valor x deve ser primeiro multiplicado por seu correspondente y .

Após, soma-se os produtos.

O coeficiente de correlação de Pearson é uma medida do grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas. Este coeficiente varia entre valores de -1 e 1. O valor 0 (zero) significa que não há relação linear, o valor 1 indica uma relação linear perfeita e o valor -1 da mesma forma, indica uma relação linear perfeita mas inversa, ou seja, quando uma das variáveis aumenta a outra diminui. Quanto mais próximo estiver de 1 ou -1, mais forte é a associação linear entre as duas variáveis. (SPIEGEL, 1993).

A temperatura interna (TINT) foi considerada a variável dependente e como variável independente, as temperaturas avaliadas na termografia em infravermelho (IMAX, IMED e IMIN).

5.1.7 Análise estatística

Realizou-se análise de correlação linear simples de Pearson entre as variáveis de uma matriz: (516 dados de temperatura por infravermelho x 516 dados temperatura interna – por *data loggers*). Cada variável de temperatura por infravermelho (IMAX, IMED, IMIN) e temperatura ambiente (TAMB) foi individualmente correlacionada com a temperatura interna (TINT) gerando os respectivos coeficientes de correlação (r). As análises foram realizadas com o auxílio do aplicativo MS Office Excel (versão 2003) e segundo os modelos disponíveis no *software GraphPad Prism.v.5* (MOTULSKY et al. 2004).

Para as comparações das médias entre os diferentes tempos de armazenamento, foi utilizado o procedimento de análise de variância pelo *software GraphPad Prism.v.5* (MOTULSKY et al., 2004), para um delineamento inteiramente casualizado. As médias foram comparadas pelo teste Tukey ao nível de significância de 5%.

5.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.2.1 Correlação entre as temperaturas por infravermelho e temperaturas internas da silagem

Os coeficientes de correlações entre as temperaturas capturadas por termografia em infravermelho e as temperaturas internas da silagem ou temperatura ambiente, estão apresentados na Tabela 11.

Segundo FLEISS (1986), os coeficientes são classificados conforme a seguinte faixa de correlação: menor que 0,40 (pobre); de 0,40 a 0,75 (moderada a boa); acima de 0,75 (excelente).

Tabela 11. Coeficientes de correlação (r) entre as temperaturas medidas por termografias em infravermelho e as temperaturas internas das silagens expostas ao ar ou temperatura ambiente registrados por *data loggers*¹

Variáveis ²	TINT	P	TAMB	P
IMAX, °C	0,55	***	0,04	***
IMED, °C	0,54	***	0,12	***
IMIN, °C	0,46	***	0,19	***

Os dados são coeficientes de correlação de Pearson. Valores estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). *** Correlação significativa a ($p < 0,0001$)

¹ *Data logger* – dispositivo de registro automático da temperatura.

² IMAX – Temperatura máxima termografia em infravermelho; IMED – Temperatura média na termografia em infravermelho; IMIN – Temperatura mínima na termografia em infravermelho.; TINT – Temperatura interna da silagem avaliada por *data logger*; TAMB – Temperatura ambiente avaliada por *data logger*.

Fonte: O autor.

Em relação a temperatura máxima na termografia em infravermelho (IMAX), esta apresentou coeficiente de correlação moderada estatisticamente significativa ($r=0,55$), com a temperatura interna da silagem por *data logger* (TINT) da silagem (ANEXO 1), segundo a faixa de correlação sugerida por FLEISS (1986), mostrando que a elevação da temperatura na superfície da silagem responde às alterações na temperatura interna da massa, decorrentes do crescimento microbiano durante a avaliação da estabilidade aeróbia.

A estabilidade aeróbia é a resistência que a silagem apresenta ao aquecimento, após ter sido exposta ao oxigênio, e pode ser definida como o número

de horas para elevação da temperatura em 2 °C em relação a temperatura ambiente (KUNG Jr. et al., 2000). Essa elevação da temperatura da silagem ocorre em função do metabolismo aeróbio do ácido láctico e dos carboidratos solúveis em CO₂, água e calor (McDONALD et al., 1991).

MUCK et al. (1991) definiram como fatores para o início da elevação da temperatura da silagem, a concentração de microrganismos epifíticos, o tempo que a silagem ficou em contato com o oxigênio, a temperatura ambiente e a compactação. Assim, o aquecimento da silagem torna-se um indicador confiável da deterioração da forragem no pós-abertura dos silos, podendo ser monitorado por termografia em infravermelho, em tempo real uma vez que, esse equipamento captura a radiação emitida pelo material, transformando-o em sinal elétrico de alta confiabilidade.

A atividade de leveduras é a principal causa da elevação da temperatura e início da deterioração das silagens (RANJIT et al., 2000). Em sequência, outros microrganismos deterioradores metabolizam os componentes solúveis presente na massa elevando a produção de calor. Colônias superiores a 100.000 UFC/g podem comprometer a estabilidade da massa em poucas horas (KUNG Jr. et al., 1998; BORREANI et al., 2002; MUCK, 2004). Os maiores níveis de deterioração das silagens em condições aeróbias ocorrem em temperatura ambiente por volta dos 30 °C, havendo intenso crescimento de fungos, elevação de pH e maior produção de CO₂ (ASHBELL et al., 2002).

Estudos que avaliaram a eficiência da TIV (OERKE et al., 2006; CHAERLE et al., 1999, 2007) obtiveram sucesso na comparação das diferenças de temperatura entre folhas saudáveis e folhas infectadas por fungos, com a intenção de antever os sinais clínicos de seu desenvolvimento. De forma semelhante, neste ensaio, buscou-se por meio das imagens térmicas determinar o início do crescimento microbiano na silagem de milho, pela elevação da temperatura das silagens, e alcance do IMAX, como indicador de quebra da estabilidade aeróbia associada à perdas de matéria seca e redução da qualidade da forragem.

Assim como verificado para IMAX, também ocorreu correlação estatisticamente significativa moderada ($r=0,54$) entre a temperatura média na termografia em infravermelho (IMED) e as medidas de TINT das silagens (ANEXO 2), conforme verificado na Tabela 11. A avaliação de temperatura por infravermelho pode ser considerada interessante, do ponto de vista prático, para o

acompanhamento do aquecimento da forragem em ensaio de estabilidade aeróbia, porém são necessários mais estudos de correlação para poder confirmar a utilização da metodologia da TIV em silagens.

Também, com o objetivo de registrar as maiores e menores temperaturas no corpo de animais, BOWERS et al. (2009) utilizaram imagens em infravermelho para identificar éguas prenhas e não prenhas, e verificaram que as temperaturas do abdômen dos animais foram maiores quando estavam prenhas, em relação as não prenhas (36,3°C e 33,7 °C, respectivamente), sendo um método eficiente e rápido de identificação. Porém os autores alertaram que a variação das condições ambientais em ambiente não controlado, como temperatura e fluxo de ar, podem interferir sobre as temperaturas registradas por TIV. Esses autores verificaram excelente correlação ($r=0,92$) entre a temperatura ambiente e a temperatura em infravermelho.

No presente trabalho, as correlações das variáveis TIV (IMAX, IMED, IMIN) apresentaram correlação fraca com as temperaturas ambiente ($r=0,04$; $r=0,12$ e $r=0,19$, respectivamente), conforme classificação de FLEISS (1986). Esses valores reduzidos foram possíveis em função do relativo controle da temperatura ambiental, mantida em aproximadamente 25 ± 1 °C na sala climatizada. Dessa forma, sugere-se que a temperatura controlada pode reduzir relativamente a interferência nas medidas de TIV em silagens. BOWERS et al. (2009) e KNÍZKOVÁ et al. (2007) relataram a interferência da composição dos gases atmosféricos, temperatura e umidade do ar na captação da radiação emitida.

É importante destacar que as características do material o qual se está medindo a temperatura por TIV (silagem de milho) pode interferir na maior ou menor correlação com a temperatura de contato, ou seja, o teor de umidade da silagem e o tamanho de partículas podem ser fatores que interferem na condutância do calor até a superfície do silo, onde é realizada a varredura e captura das termografias. Assim, dependendo da dinâmica do processo fermentativo das silagens, da atividade de água e da disponibilidade de nutrientes na fase de aerobiose, podem ocorrer interferências na precisão da temperatura por infravermelho. Contudo, nenhum desses fatores já foi avaliado em trabalhos de pesquisa.

As silagens do presente ensaio apresentaram média de 70,3% de umidade quando iniciaram-se as avaliações por TIV durante exposição aeróbia, e finalizaram com 69,0% de umidade após 148 horas de contato com o ar. Esses distintos teores de água podem ter afetado as propriedades térmicas das silagens. Por ser a

primeira avaliação de silagens por TIV, não foi possível afirmar o grau de efeito que os teores de umidade verificados nessas silagens tiveram sobre as medidas de temperatura por infravermelho, sendo necessário maiores investigações a fim de obter dados sobre temperatura por TIV em silagens com diferentes teores de umidade, com o objetivo de procurar respostas a essa hipótese. Mesmo assim, os valores de temperatura discrepantes apresentados na Tabela 12 indicam que a umidade da silagem não é o único fator de desvio na predição da temperatura interna da forragem por intermédio da TIV.

A temperatura mínima na termografia (IMIN) apresentou coeficiente de correlação inferior à IMAX e IMED ($r=0,46$) com a TINT (ANEXO 3). Provavelmente essa menor correlação foi proporcionada pela extrema sensibilidade da câmera termográfica em infravermelho em registrar qualquer elevação/variação da temperatura da silagem e do ambiente na periferia dos baldes que continham a silagem. Assim, os valores de IMIN podem ter sido influenciados por fatores externos à forragem, e não devem ser usados para avaliação de parâmetros relacionados à estabilidade aeróbia.

5.2.2 Temperaturas em função do tempo de armazenamento das silagens

Na Tabela 12 verifica-se as médias de temperaturas, capturadas por termografia em infravermelho nos diferentes tempos de armazenamento das silagens (30, 60, 90 e 120 dias), para as variáveis IMAX, IMED, IMIN, TINT e TAMB, e o teor de MS, após a abertura dos silos experimentais. As três variáveis avaliadas por TIV apresentaram diferenças entre todos os tempos de armazenamento avaliados.

As maiores temperaturas registradas por TIV foram verificadas nas silagens armazenadas por 30 dias, e as menores nas armazenadas por 90 dias. Contudo, a temperatura interna da silagem apresentou efeito diferente, com valores superiores aos 30 e 120 dias.

Provavelmente o curto período de fermentação das silagens, aos 30 dias, acarretou maior disponibilidade de nutrientes residuais na silagem, o que pode ter favorecido o rápido crescimento e maior proliferação dos microrganismos presentes.

Tabela 12. Médias e respectivos erros padrão das variáveis de temperatura registradas por termografia, e teor de matéria seca, em silagens armazenadas por diferentes períodos

Variáveis ²	Tempo de armazenamento (dias) ¹				Média
	30	60	90	120	
IMAX, °C	27,4 ± 0,2 ^a	24,9 ± 0,2 ^b	23,2 ± 0,1 ^c	25,4 ± 0,2 ^b	25,2
IMED, °C	26,2 ± 0,2 ^a	23,5 ± 0,1 ^c	21,8 ± 0,1 ^d	24,4 ± 0,1 ^b	24,0
IMIN, °C	24,7 ± 0,2 ^a	22,3 ± 0,1 ^c	20,6 ± 0,1 ^d	23,5 ± 0,1 ^b	22,7
TINT, °C	30,9 ± 0,4 ^a	30,4 ± 0,3 ^a	28,5 ± 0,4 ^b	31,6 ± 0,4 ^a	30,3
TAMB, °C	26,3 ± 0,2 ^a	25,2 ± 0,0 ^b	25,2 ± 0,0 ^b	26,3 ± 0,0 ^a	25,7
MS, %	30,6	30,3	30,2	30,1	30,3

¹ Médias seguidas de letras diferentes, na linha, são estatisticamente diferentes pelo teste Tukey (P<0,05).

² IMAX – Temperatura máxima na termografia em infravermelho; IMED – Temperatura média termografia em infravermelho; IMIN – Temperatura mínima termografia em infravermelho; TINT – Temperatura interna da silagem; TAMB – Temperatura ambiente; MS – Teor de matéria seca médio. Fonte: O autor.

FERLON et al. (1995) afirmaram que silagens com elevado teor de energia possuem efeito contrário na manutenção da qualidade durante a fase após a abertura dos silos. De acordo com a composição bromatológica, teor de MS e ácidos orgânicos das silagens (Tabelas 3 e 7, item 4.4.1), as mesmas apresentaram elevada qualidade o que justificaria o maior aquecimento aos 30 dias de armazenamento. No entanto, a temperatura interna da silagem (TINT) não acompanhou o efeito verificado para as TIV.

As TINT foram semelhantes aos 30, 60 e 120 dias, não acompanhadas pelas medidas de TIV. Calculando-se a diferença entre a IMED e a TINT, verifica-se valores de 4,7; 6,9; 6,7 e 7,2 °C para as silagens de 30, 60, 90 e 120 dias, respectivamente. Isso indica comportamento diferenciado na predição da TINT pela TIV nos diferentes períodos onde a tecnologia foi avaliada.

Alguns efeitos não contemplados no modelo experimental adotado no presente ensaio podem ter interferido na magnitude das correlações obtidas. A temperatura avaliada por TIV é inferior à temperatura interna da massa, uma vez que o calor é dissipado para o ambiente e a TIV mede apenas a temperatura da superfície de contato com o ar. Os *data loggers* inseridos no centro geométrico da

massa mensuravam a temperatura numa condição de isolamento parcial em relação ao ambiente, onde as perdas de calor são reduzidas.

O teor de MS foi bastante próximo entre as silagens, nos diferentes tempos. Aspectos associados à dissipação do calor produzido, além da umidade, e não avaliados no presente ensaio, provavelmente expliquem as diferentes magnitudes da diferença entre as temperaturas da TIV e temperaturas internas, nos quatro períodos de armazenamento das silagens. Na prática existe a necessidade de novas investigações para avaliar correlações das TIV por varredura no painel do silo.

Analisando individualmente as variáveis TINT, registradas por *data logger*, as médias diferiram somente para 90 dias de armazenamento, com temperaturas inferiores aos demais períodos. Essa redução no aquecimento da silagem avaliado na temperatura interna foi acompanhada por menores valores de temperatura registrados nas termografias.

Pode-se afirmar que após 90 dias de fermentação seja o período mais adequado para abertura dos silos, provavelmente em função dos teores de carboidratos residuais e a eficiência no controle dos microrganismos indesejáveis pelo menor valor de pH nesse período. (Tabela 4, item 4.4.1). Nessa silagem observou-se elevada produção de ácido láctico (8,26 % da MS) aos 90 dias (Tabela 8 item, 4.4.3).

Apesar da curva de temperatura ambiente (TAMB) apresentar diferença entre os tempos de armazenamento, e que poderia ter influenciado as temperaturas por TIV, a mesma manteve-se na média de 25,7 °C, de acordo com a variação de ± 1 °C permitida para esse estudo. Assim, essa variável, da mesma forma que o teor de MS das silagens, não parece ser responsável pelas diferenças de predição verificadas entre TIV e TINT.

Por ser esse o primeiro relato desse tipo de avaliação em silagens, com base na literatura consultada, ocorre a necessidade de novas investigações a fim de aprofundar o entendimento dos fatores interferentes nas mensurações de temperatura usando a ferramenta TIV. Dentre esses fatores não se descarta efeito de operador, distância do objeto fotografado, variações prévias na temperatura ambiente, presença de componentes voláteis e gases na sala climatizada, entre outros. KASTELIC et al. (1996) consideraram a otimização das condições ambientais, por câmara climatizada, importante para geração de dados de temperatura mais confiáveis. No entanto, os autores consideram a técnica por TIV

bastante robusta para as avaliações feitas a campo, na avaliação de temperatura da superfície escrotal de bovinos.

O comportamento das temperaturas nos diferentes tempos de armazenamento das silagens pode ser observado na Figura 5.

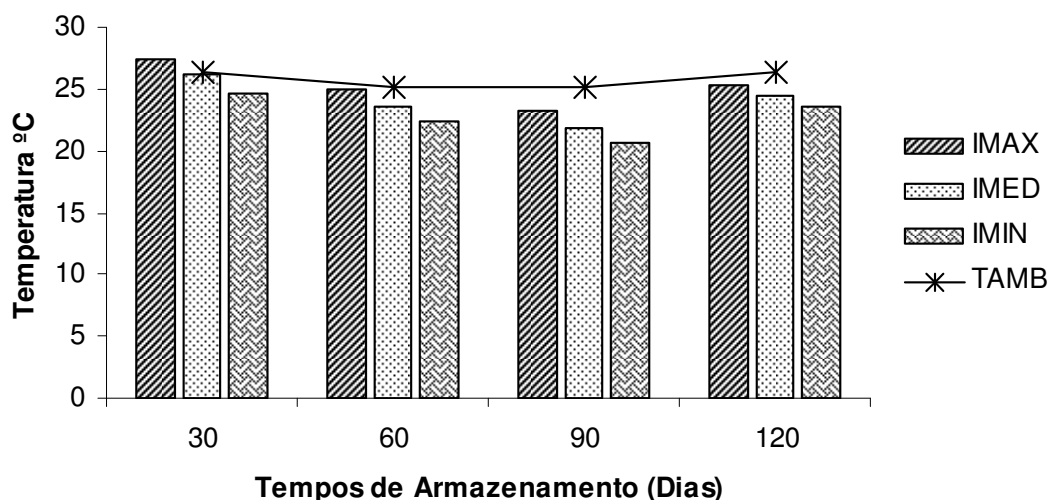


Figura 5. Temperaturas máxima (IMAX), média (IMED) e mínima (IMIN) na termografia em infravermelho, das silagens de milho armazenadas por quatro períodos diferentes e expostas ao ar, em relação à temperatura ambiente da sala climatizada (TAMB).

Fonte: O autor.

Conforme verificado na Figura 5, ocorreu nova elevação das temperaturas nas silagens armazenadas por 120 dias. Uma provável explicação para esse maior aquecimento, em relação à silagem armazenada por 90 dias, seja elevação da temperatura ambiente média, com incremento de 1,1 °C favorecendo a degradação das silagens em aerobiose.

As diferenças estatísticas verificadas para as temperaturas médias do ambiente (TAMB), entre os tempos de armazenamento 30, 60, 90 e 120 dias, ocorreram devido às dificuldades no controle da temperatura interna da sala climatizada, em decorrência das variações da temperatura externa.

Com base no exposto aqui, fica evidente a necessidade de mais trabalhos avaliando a metodologia de aplicação da termografia em infravermelho em silagens, não sendo possível concluir nesse trabalho sobre a real eficiência da utilização de TIV para avaliação de estabilidade aeróbia. Novos ensaios com medição das correlações das temperaturas por TIV com TINT, e a avaliação dos fatores

interferentes, como temperatura ambiente, sobre as imagens térmicas, são fundamentais.

A validade da TIV como ferramenta de indicação de pontos de aquecimento em superfícies como o painel de silos é inquestionável. Porém, a determinação da magnitude do aquecimento e das perdas de matéria seca em ensaio de estabilidade aeróbia de silagens com a aplicação de TIV permanece duvidosa. Como otimizar a obtenção desses dados? Qual a melhor maneira de utilizá-los? Essas perguntas devem estar compreendidas nos objetivos das próximas pesquisas com silagens.

5.3 CONCLUSÕES

O presente estudo identificou correlações positivas das temperaturas avaliadas por termografia em infravermelho com as temperaturas internas das silagens, em grau moderado, e pobres correlações entre a TIV e a temperatura ambiente.

As temperaturas em infravermelho registradas em diferentes períodos demonstraram comportamento diferente em relação à temperatura interna da silagem, com resultados não conclusivos, possivelmente devidos à variáveis não avaliadas no presente ensaio.

Novas investigações avaliando o uso da tecnologia TIV em silagens são necessárias a fim de compreender melhor as respostas das temperaturas para a validação do método.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHBELL, G.; WEINBERG, Z.G.; HEN, Y. et al. The effect of temperature on the aerobic stability of wheat and corn silage. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**, v.28, p.261-263, 2002.
- BOWERS, S.; GANDY, B.; ANDERSON, P. et al. Assessment of pregnancy in the late-gestation mare using digital infrared thermography. **Theriogenology**, v.72, p.372-377, 2009.
- BORREANI, G.; BERNARDES, T.F.; TABACCO, E. Aerobic deterioration influences the fermentative, microbiological and nutritional quality of maize and sorghum silages on farm in high quality milk and cheese productions chain. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, supl., p.68-77, 2008.
- BORREANI G.; TABACCO E.; COLOMBARI G.; Influenza del deterioramento aerobico degli insilati sulla qualità dei prodotti caseari. **L'Informatore Agrario**, v.11, p.58-61, 2002.
- CHAERLE, L.; CAENEGHEM, W.V.; MESSENS, E. et al. Presymptomatic visualization of plant-virus interactions by thermography. **Nature Biotechnology**, v.17, p.813-816, 1999.
- CHAERLE, L.; LEINONEN, I.; JONES, H. G. et al. Monitoring and screening plant populations with combined thermal and chlorophyll fluorescence imaging. **Journal of Experimental Botany**, v.58, n.4, p.773-784, 2007.
- FERLON, D.R.; HENDERSON, A.R.; ROOKE, J.A. The fermentative preservation of grasses and forage crops. **Journal of Applied Bacteriology**, Supl., v.79, n.24, p.118-131, 1995.
- FLEISS, J.L. 1986. **The Design and Analysis of Clinical Experiments**, Wiley, p. 1-32. GARRATT, A. M.; MOFFETT, J. K.; FARRIN, A. J. Responsiveness of Generic and Specific Measures of Health Outcome in Low Back Pain. **Spine**, v.26, n.1, p.71-77, 2001.
- FLUKE. **Fluke Ti25 Infrared thermal imaging camera specifications**. Disponível em: <http://www.fluke-ti25.com/Ti-25-Specifications_ep_40.html> Acessado em: 05/12/2010.
- IAPAC. **Discovery of infrared**, 2010. Disponível em: <http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic_classroom/ir_tutorial/discovery.html> Acessado em: 01/12/2010.
- KASTELIC, J.P.; COOK, R.B.; COULTER, G.H. et al. Environmental factors affecting measurement of bovine scrotal surface temperature with infrared thermography. **Animal Reproduction Science**, v.41, p.153-159, 1996.
- KNÍŽKOVÁ, I. et al. Applications of infrared thermography in animal production. **Journal. of Faculty of Agriculture**, v.22, n.3, p.329-336, 2007.
- KUNG, Jr., L.; ROBINSON, J.R.; RANJIT, N.K. et al. Microbial populations, fermentation end-products, and aerobic stability of corn silage treated with ammonia or a propionic acid-based preservative. **Journal of Dairy Science**, v.83, p.1479-1486, 2000.
- KUNG, Jr., L.; SHEPERD, A.C.; SMAGALA, A.M. et al. The effect of preservatives based on propionic acid on the fermentation and aerobic stability of corn silage and a total mixed ration. **Journal of Dairy Science**, v.81, p.1322-1330, 1998.

McDONALD, P.; HENDERSON, A.R.; HERON, S.J.E. **The biochemistry of silage**. 2.ed. Merlow: Chalcomb Publications, 1991, 340p.

MOTULSKY, H.J.; CHRISTOPOULOS, A. **Fitting models to biological data using linear and non-linear regression. A practical guide to curve fitting**. In: OXFORD UNIVERSITY PRESS 2004 OXFORD, UK: Oxford University, 2004. 351p.

MUCK, R.E.; BOLSEN, K.K. Silage preservation and silage additive products. In BOLSEN, K.K. et al. HAY AND SILAGE MANAGEMENT IN NORTH AMERICA. NFIA, p.105-126, 1991.

MUCK, R.E. Effects of corn silage inoculants on aerobic stability. **Transactions of the ASAE**. v.47, p.1011-1016, 2004.

SPIEGEL, M.R. **Estatística**. Tradução: CONSENTINO, P. ed 3. São Paulo: Makron Books (coleção Schaum). 1993.

OERKE, E.C.; STEINER, U.; DEHNE, H. W. et al. Thermal imaging of cucumber leaves affected by downy mildew and environmental conditions. **Journal of Experimental Botany**, v.57, n.9, p.2121–2132, 2006.

O'KIELY, P.O.; CLANCY, M.; DOYLE, E.M. Aerobic stability of grass silage mixed with a range of concentrate feedstuffs at feed-out. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., São Pedro, 2001. **Proceedings...** Piracicaba: FEALQ, 2001. p.794-795.

RANJIT, N.K.; KUNG Jr., L. The effect of *Lactobacillus buchneri*, *Lactobacillus plantarum*, or a chemical preservative on the fermentation and aerobic stability of corn silage. **Journal of Dairy Science**, v.83, p.526-535, 2000.

SHAEFER, A.L.; COOK, N.J.; CHURCH, L.S. et al. The use of infrared thermography as an early indicator of bovine respiratory disease complex in calves. **Research in Veterinary Science**, v.83, p.376–384, 2007.

STABENTHINER, A. et al. Thermographic determination of body temperatures in honey bees and hornets: calibration and applications. **Thermology**, v.2 p.563-572, 1987.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

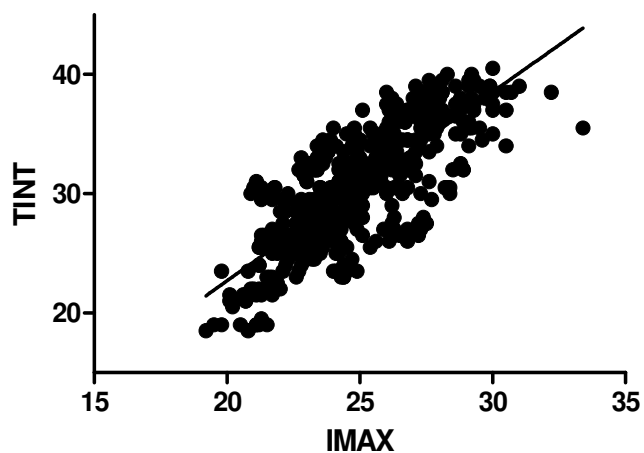
O desenvolvimento de novas tecnologias, como novos aditivos microbianos, que visam melhorar o processo de produção de silagens com redução nas perdas inerentes ao processo, são necessárias. Porém, o desafio que se apresenta é PRODUZIR mais e POLUIR menos. Portanto, aditivos que tenham capacidade de reduzir os fatores poluentes, seja redução da emissão de gases, efluentes ou componentes potencialmente tóxicos, são os objetos de pesquisas que estão sendo desbravados nas atividades de produção de forragens conservadas, e que necessitam maior investigação e investimentos.

Trabalhos como o aqui apresentado vêm de encontro às necessidades de respostas sobre minimização de perdas, onde a aplicação de aditivos microbianos em silagens de milho é considerada uma possibilidade para minimizar perdas fermentativas e controlar a deterioração após a abertura dos silos. Contudo esse efeito não foi verificado no presente estudo.

O uso de termografia em infravermelho para predizer as perdas de matéria seca após a abertura dos silos apresentou respostas não conclusivas, havendo a necessidade de mais estudos buscando novas correlações e otimização da aplicação do método para silagens de milho. Essa metodologia poderá, no futuro, contribuir com possibilidade de redução de custos e maior número de amostras avaliadas em menor espaço de tempo.

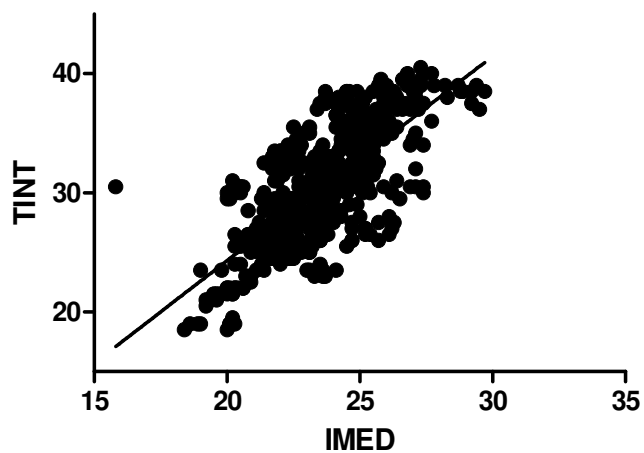
Assim, novas metodologias aplicáveis, com baixo investimento e resultados consistentes, determinando o que acontece durante a conservação de alimentos volumosos, deverão ser desenvolvidas. Essas metodologias devem oferecer VELOCIDADE, PORTABILIDADE, PRECISÃO e EXATIDÃO necessárias para as medições a campo.

ANEXOS



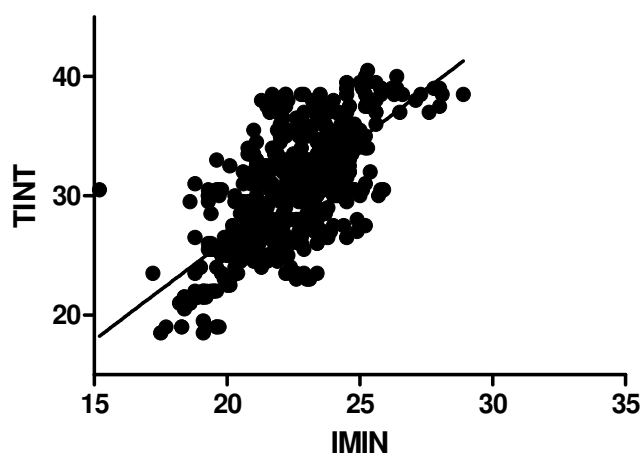
Anexo 1 – Gráfico de correlação linear positiva entre temperatura máxima na termografia em infravermelho (IMAX) e temperatura interna (TINT) das silagens de milho.

Fonte: O autor.



Anexo 2 - Gráfico de correlação linear positiva entre temperatura média na termografia em infravermelho (IMED) e temperatura interna (TINT) das silagens de milho.

Fonte: O autor.



Anexo 3 - Gráfico de correlação linear positiva entre temperatura mínima na termografia em infravermelho (IMIN) e temperatura interna (TINT) das silagens de milho
Fonte: O autor.